



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Civil

A Sustentabilidade e o Conforto das Construções

Sandra Maria Gomes Monteiro da Silva

Dissertação apresentada à Universidade do Minho para a Obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Civil / Processos de Construção

Trabalho efectuado sob a orientação da Professora Doutora Maria Manuela de Oliveira
Guedes de Almeida

Setembro de 2009

Agradecimentos

À Professora Manuela Almeida, minha orientadora, pelo exemplo, orientação, espírito crítico, por todo o apoio e ajuda ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Luís Bragança, que deu início a esta jornada.

Aos meus colegas e amigos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho pela paciência e incentivo ao longo de todos estes anos de trabalho.

À Rosário pelo apoio, amizade e incentivo constantes.

Aos alunos da Licenciatura em Engenharia Civil da Universidade do Minho: Ana Margarida Carvalho, Sandra Fonseca Pereira, Hugo Fernandes, Jaime Soares, Catarina Brandão, Katharina Branco e Ricardo Fonte pela colaboração prestada em alguns estudos apresentados.

E à minha família, que me apoiou e acompanhou em todos os momentos ao longo destes anos de trabalho.

Os meus sinceros agradecimentos.

A SUSTENTABILIDADE E O CONFORTO DAS CONSTRUÇÕES

Resumo

O ambiente construído produz grandes impactes no meio ambiente, na saúde humana e na economia. Adotar estratégias de construção que garantam a Qualidade do Ambiente Interior e a sustentabilidade é uma forma de minimizar os impactes sócio-ambientais e maximizar o desempenho económico dos edifícios.

Um ambiente interior saudável e confortável é uma premissa básica em todos os edifícios, é durante a fase de projecto que os conceitos de sustentabilidade dos edifícios devem ser aplicados, através da implementação de uma estratégia combinada que permita melhorar o conforto global e o comportamento energético, ao mesmo tempo que o impacte ambiental é reduzido, através de uma selecção judiciosa dos materiais, das tecnologias e dos métodos de construção a ser utilizados.

A forma e configuração dos edifícios são o resultado de um processo complexo, em que devem ser considerados factores funcionais, técnicos e estéticos. A exposição aos ventos, o acesso solar, a protecção conferida pela envolvente, a qualidade do ar e o nível sonoro do local de implantação vão afectar a relação entre o edifício e o ambiente que o envolve, influenciando a forma do edifício.

As exigências de aquecimento e arrefecimento, iluminação, qualidade do ar e de isolamento acústico devem ser consideradas pelos Arquitectos e Engenheiros logo na fase inicial do projecto de modo a serem asseguradas as condições de conforto nos edifícios ou seja garantir a Qualidade do Ambiente Interior e a sua sustentabilidade.

Para atingir este objectivo é necessário utilizar materiais e produtos pouco poluentes (para minimizar a libertação de compostos orgânicos voláteis, COV, e outros poluentes), aplicar métodos e técnicas que permitam reutilizar os componentes do edifício ou a utilização de materiais reciclados e recicláveis, minimizar a aplicação de materiais ou componentes baseados em recursos materiais escassos, seleccionar materiais que conjuguem durabilidade e baixa energia incorporada e projectar, planejar e pensar o edifício para a sua demolição e para a reutilização dos materiais e ainda minimizar os custos de operação e manutenção dos edifícios, nomeadamente os consumos energéticos para aquecimento, arrefecimento e para águas quentes sanitárias.

Para garantir um comportamento térmico e acústico adequado, condições de iluminação natural suficientes e assegurar a qualidade do ar interior dos edifícios é necessário considerar o armazenamento térmico (inércia térmica), usando a estrutura de edifício e seleccionando sistemas construtivos para as paredes exteriores e níveis de isolamento de acordo com a zona climática.

É igualmente necessário seleccionar a forma de fenestração correcta para cada orientação, de acordo com a latitude, iluminação e a ventilação natural, considerando igualmente os ganhos solares, as obstruções exteriores e seleccionando os dispositivos de protecção solar, para otimizar as exigências de conforto e reduzir os consumos energéticos e para assegurar as exigências de isolamento térmico e acústico, o conforto lumínico em função da tarefa visual a ser executada.

É necessário otimizar a envolvente do edifício, melhorando o isolamento, as características dos vãos envidraçados e dos sistemas de sombreamento, otimizando as técnicas de iluminação e ventilação natural através dum projecto adequado, de modo a reduzir as perdas térmicas do edifício.

As soluções adoptadas nos edifícios, geralmente, otimizam apenas uma das exigências de conforto. Em muitos casos, as melhores soluções para cumprir as diferentes exigências de conforto não são compatíveis, em especial no que se refere a estratégias de ventilação e de iluminação natural e ao desempenho acústico e térmico. Por exemplo, o tipo de janela usado pode ter uma influência forte e

oposta no desempenho térmico e acústico do edifício, para não referir a sua intervenção na qualidade do ar interior.

As soluções adoptadas nos edifícios são apenas compatíveis com uma ou duas das exigências necessárias e não respeitam as restantes (por exemplo a estanquidade das caixilharias é boa para o desempenho térmico e acústico, mas não para a ventilação natural e não interfere com a iluminação natural). É assim necessária uma análise integrada para assegurar o melhor comportamento global (por exemplo, a definição da área, da forma, a selecção dos dispositivos de sombreamento, da forma de abertura da caixilharia, o tipo de vidro e de material da caixilharia, considerando orientação do envidraçado, as condições ambientais exteriores, etc.).

Assim, e uma vez que os edifícios são sistemas complexos, onde todos os aspectos estão interligados e se influenciam, é necessário realizar uma análise integrada do edifício, que deve otimizar a saúde, o bem-estar e o conforto interior além da redução dos consumos energéticos da sustentabilidade do edifício, para assegurar o melhor comportamento global tendo em consideração as, por vezes incompatíveis, exigências do conforto global.

O objectivo deste estudo é, assim, identificar um conjunto de soluções optimizadas (soluções construtivas para a envolvente, materiais usados, estratégias da fenestração e de ventilação, etc.), a fim melhorar o desempenho global dos edifícios garantindo todas as exigências de conforto, porque um edifício bem projectado tem o potencial de reduzir consumos energéticos e de melhorar o conforto global dos ocupantes.

Este estudo consiste na optimização das condições globais de conforto através da análise e o controle dos parâmetros principais que afectam a Qualidade do Ambiente Interior, relativos ao nível de isolamento térmico, ao nível de isolamento acústico, aos níveis da iluminação natural, o número de renovações de ar por a hora e à percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior, considerando os factores que têm maior influência no comportamento dos edifícios.

Para cumprir este objectivo é necessário prever o comportamento higratérmico, acústico, as suas condições de iluminação e potencialidades de ventilação natural e a qualidade do ar interior dos edifícios, na fase de projecto, de modo a ser possível tomar as opções mais correctas em relação à geometria, organização dos espaços, fenestração, escolha das soluções construtivas e selecção de materiais, de forma a reduzir os custos energéticos, garantir a sustentabilidade das construções e, ao mesmo tempo, melhorar as condições globais de conforto dos ocupantes (higratérmico, acústico, lumínico, e a QAI).

É assim necessário realizar uma análise integrada do projecto do edifício para garantir o desempenho optimizado do edifício, tendo em atenção as exigências por vezes incompatíveis, dos diferentes tipos de conforto e a sustentabilidade. Deve assim ser realizada uma análise multicritério de diversas soluções alternativas de projecto para seleccionar a que dá resposta às exigências definidas, de conforto e sustentabilidade.

Palavras-chave:

Qualidade do Ambiente Interior

Sustentabilidade

Conforto térmico

Acústica

Iluminação

Ventilação

SUSTAINABILITY AND COMFORT IN BUILDINGS

Abstract

A healthy and comfortable indoor environment is a basic premise in all buildings, it is during the design phase that the sustainable building concepts should be applied, through the implementation of a combined strategic action that allows improving the comfort and the energy performance, while reducing the environmental impact, by a judicious selection of materials, technologies and construction methods to be used.

Building plan and shape are the result of a complex process. Functional, technical and aesthetic considerations all contribute to the building design. Wind, solar availability, shelter, exposure, air quality and noise conditions will affect the relationship between the building and its external environment and influence the shape and the design of the envelope. Materials selection, heating, cooling, daylighting, indoor air quality (IAQ), acoustic behaviour and energy strategies should be meshed at an early stage with the other requirements to ensure the buildings sustainability and overall comfort conditions.

To achieve this goal it is necessary the use of environmental friendly products (to minimize the Volatile Organic Compounds - VOC - and other emissions), methods and techniques for buildings, re-use of components or use of recycled materials, minimize the use of materials or components that rely on scarce materials resources, select materials that balance durability and low embodied energy and design and plan the building for demolition and re-use and also to minimize the operation cost, namely the energy need for heating, cooling and domestic hot water.

To guarantee an adequate thermal, acoustic and daylight behaviour and the internal air quality (IAQ) of the buildings it is necessary to consider thermal storage (thermal inertia) using the building structure, selecting exterior walls systems and insulation according to the climatic zone.

It is also necessary to select the correct fenestration for each orientation, according to the latitude, lighting and natural ventilation, considering also the solar gains, the outdoor obstructions and choosing the shading devices to optimize the energy and comfort needs to ensure the acoustic and thermal exigencies, the indoor visual comfort related to the visual task to be performed.

It is necessary to optimize the building envelope, by improving insulation, glazing, optimizing natural ventilation and daylighting techniques through appropriate design in order to reduce the thermal losses of the building.

The solutions adopted in buildings, usually, only optimize no more than one of the necessary comfort requirements. In many cases, the best solutions to accomplish different comfort requirements are not compatible, especially in what concerns natural ventilation and lighting strategies and the acoustic and thermal performance. For instance, the type of window used can have a strong and opposite influence on the thermal and acoustic performance of the building, just not to mention its interference on the indoor air quality (IAQ).

The solutions adopted on the buildings are only compatible with one or two of the necessary requirements, and don't fulfil the others (for example the windows' frame air tightness is good for the thermal and acoustic performance, but not to natural ventilation and doesn't interfere with the natural lightning). Therefore, it is necessary an integrated analysis to ensure the best overall behaviour (for instance, the definition of the area, shape, shading device, way of opening, type of glazing of a window, considering its orientation, the external environment, etc.).

Therefore, and as the buildings are complex systems, where all aspects are interconnected and influence each other, it is necessary to have an integrated approach to the building, that should enhance indoor health and comfort besides the energy savings and environmental sustainability, to ensure the best overall behaviour taking into account all of the, sometimes incompatible, comfort requirements.

The aim of this study is, then, to identify a range of optimized solutions (envelope construction solutions, materials used, fenestration and ventilation strategies, etc.), in order to improve the overall performance of buildings accomplishing all the comfort requirements, because a well designed building has the potential to reduce energy costs and also to improve the occupants' comfort.

This study will consist on the optimization of the overall comfort conditions throughout the analysis and control of four major parameters related to the thermal insulation level, the acoustic insulation level, the illuminance levels (taking into account the indoor daylight requirements) the number of air changes per hour and the percentage of people dissatisfied with the indoor air quality (related to the indoor air quality), considering the factors that have influence on the buildings behaviour.

To accomplish this goal it is necessary to predict the thermal, acoustic, lighting and IAQ behaviour of the buildings, on the design phase, in order to be able to do the right choices, regarding, for instance the geometry, fenestration strategies, construction solutions and materials, to improve the occupants overall comfort and, simultaneously, to reduce the energy costs and increasing the sustainability of the buildings.

So it is necessary to have an integrated approach to ensure the best overall behaviour taking into account all of the, sometimes incompatible, comfort and sustainability requirements. A multicriteria analysis of several solutions should be performed to select the most adequate for each case, according to the criteria that were defined.

Keywords:

Thermal Comfort

Acoustic behaviour

Daylight

Indoor Air Quality

Indoor Environmental Quality

Sustainability

Índice Geral

Capítulo 1 - Enquadramento e Objectivos	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objectivos	3
1.3. Estrutura do Trabalho Realizado	4
Capítulo 2 - A Sustentabilidade e o Conforto das Construções	7
2.1 Os Edifícios	7
2.2 O Conforto e a Sustentabilidade	14
2.3 A Qualidade do Ambiente Interior	23
2.3.1 Aspectos climáticos do ambiente interior	35
Condições necessárias para conforto térmico	38
2.3.2 Aspectos Não Climáticos da Qualidade do Ambiente Interior	44
Síndrome dos edifícios Doentes	69
As fontes	70
Os poluentes	71
Ventilação	76
2.4 O Ambiente Envolvente e Os Consumos Energéticos dos Edifícios	82
Capítulo 3 - Metodologia	93
3.1 Introdução	93
3.2 Descrição das Células de Teste	93
3.2.1 Células de Teste de Edifícios não Convencionais	94
3.3 Descrição dos Edifícios Analisados	105
3.3.1 Descrição dos Edifícios Tipo	105
3.3.2 Descrição dos Edifícios Avaliados na Campanha de Medições de IEQ In Situ	109
3.4 Programas de Simulação do Comportamento de Edifícios (higrotérmico, acústico, lumínico e QAI)	129
3.4.1 EnergyPlus	130
3.4.2 DesignBuilder	136
3.4.3 VisualDOE	138
3.4.4 Ecotect	141
3.4.5 Comis	143

3.4.6	Radiance	144
3.4.7	Aiolos	146
3.4.8	NatVent	146
3.4.9	Acoubat Sound	147
3.4.10	dBMat	149
3.5	Soluções Construtivas Estudadas	150
3.5.1	Paredes	150
3.5.2	Coberturas e Pavimentos	155
3.5.3	Envidraçados e Dispositivos de Oclusão e/ou Sombreamento	161
3.5.4	Materiais	163
Capítulo 4 - Simulação do Comportamento Higrotérmico, Acústico, Lumínico e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios		165
4.1	Introdução	165
4.2	Avaliação do Comportamento Térmico, do Desempenho Energético, do Comportamento Acústico, Avaliação das Condições de Iluminação, da Qualidade do Ar Interior e das Condições de Ventilação	166
4.3	Simulação do Comportamento Higrotérmico de Edifícios	167
4.3.1	Simulação Energética de Edifícios de Geometria Simples	168
4.3.2	Análise Comparativa dos Resultados	170
4.3.3	Optimização da Eficiência Energética	175
4.3.4	Conclusões da Análise de Resultados da Simulação de uma Geometria Simples	187
4.3.5	Simulação do Comportamento Higrotérmico das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais	188
4.3.6	Simulação do Comportamento Higrotérmico de Soluções Construtivas e dos Edifícios Tipo	190
4.4	Simulação da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios	199
4.4.1	Aplicação da metodologia aos edifícios tipo	206
4.5	Simulação do Comportamento Acústico	207
4.6	Simulação do Comportamento Lumínico	217
4.6.1	Simulação do comportamento lumínico	218
	Simulação do Comportamento Lumínico nos Edifícios do Parque Habitacional	224
	Simulação do comportamento lumínico do Edifício 1	224
	Simulação do comportamento lumínico da Habitação 2.1	227
	Simulação do comportamento lumínico da Habitação 3	228
	Simulação do comportamento lumínico da Habitação 4	228

Simulação do comportamento lumínico da Habitação 5.1	228
Simulação do comportamento lumínico da Habitação 6.1	229
Simulação do comportamento lumínico da Habitação 7.1	229
Simulação do comportamento lumínico de Habitações unifamiliares isoladas (Habitação 10, Habitação 11)	229
Análise dos resultados da simulação do comportamento lumínico dos edifícios do parque habitacional	230
Capítulo 5 - Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios	233
5.1 Avaliação do Comportamento Higrotérmico	233
5.1.1 Critérios de Desempenho Higrotérmico	234
5.1.2 Resultados da avaliação do comportamento higrotérmico in situ	234
5.2 Avaliação In Situ da Qualidade do Ar Interior (QAI)	247
5.2.1 Critérios de Desempenho	247
5.2.2 Estratégias de Mitigação	265
5.3 Avaliação do Comportamento Lumínico	266
5.3.1 Avaliação do comportamento lumínico in situ	266
5.4 Avaliação do Comportamento Acústico	284
5.4.1 Resultados da Avaliação das Condições de Conforto Acústico	285
5.4.2 Resultados da Avaliação do isolamento acústico in situ	288
5.5 Avaliação Subjectiva da Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios	320
5.5.1 Qualidade do Ambiente Interior	320
Capítulo 6 - Optimização dos Edifícios para Assegurar a qualidade do Ambiente Interior	327
6.1 Introdução	327
6.2 A Decisão / Selecção Face à Multiplicidade de Critérios	329
6.2.1 Análise multicritério	334
6.3 Aplicação da Análise Multicritério para Optimizar a Sustentabilidade e o Conforto das Construções	344
6.3.1 Selecção dos Critérios	344
6.3.2 Definição dos pesos e dos limites	345
6.3.3 Aplicação do Método de Análise Multicritério às Habitação Tipo	348

Capítulo 7 - Conclusão	353
7.1 Síntese dos Resultados Obtidos	354
7.2 Limitações	358
7.3 Objectivos Futuros	359
Anexo I - Equipamentos	361
I.1. Descrição dos Equipamentos Utilizados	361
Anexo II - Descrição dos Ensaios de Isolamento Acústico	405
II.1. Avaliação do Comportamento Acústico	405
II.2. Critérios de Desempenho Acústico	409
Anexo III - Resultados da Simulação Energética e do Comportamento Higrotérmico de Edifícios	411
III.1. Simulação Energética de Edifícios de Geometria Simples	411
III.2. Simulação do Comportamento Higrotérmico das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais	425
III.3. Simulação do Comportamento Higrotérmico de Soluções Construtivas e dos Edifícios Tipo	435
III.4. Simulação do Comportamento Acústico	450
III.5. Simulação do Comportamento Lumínico	460
Simulação do Comportamento Lumínico nos Edifícios do Parque Habitacional	461
Simulação do comportamento lumínico do Edifício 1	461
Simulação do comportamento lumínico da Habitação 2.1	461
Simulação do comportamento lumínico da Habitação 3	463
Simulação do comportamento lumínico da Habitação 4	465
Simulação do comportamento lumínico da Habitação 5.1	467
Simulação do comportamento lumínico da Habitação 6.1	469
Simulação do comportamento lumínico da Habitação 7.1	471
Simulação do comportamento lumínico de Habitações unifamiliares isoladas	472
Anexo IV - Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios	479
IV.1. Avaliação do Comportamento Higrotérmico	479
IV.2. Avaliação In situ da Qualidade do Ar Interior	506
IV.3. Avaliação do Comportamento Lumínico	559
IV.4. Avaliação do Comportamento Acústico	573

Anexo V - Inquérito

637

Referências Bibliográficas

643

Lista de Abreviaturas e Siglas

CHOH	-	Formaldeído
CO	-	Monóxido de carbono
CO ₂	-	Dióxido de carbono
COV	-	Compostos orgânicos voláteis
IEQ	-	Qualidade do ambiente interior
FLD	-	Factor de luz do dia
O ₃	-	Ozono
QAI	-	Qualidade do ar interior
IEQ	-	Indoor Environmental Quality (Qualidade do Ambiente Interior)
PMV	-	Voto médio estimado
PPD	-	Percentagem de pessoas descontentes
PM	-	Partículas respiráveis

Índice de Figuras

Capítulo 2 - A Sustentabilidade e o Conforto das Construções

Figura 2.1 –	Impacte ambiental anual dos edifícios nos Estados Unidos da América (US EPA, 2004)	8
Figura 2.2 –	Principais problemas detectados nas habitações analisadas pela DECO	9
Figura 2.3 –	Representação do Modelo Ambiental Holístico (Adaptado de Hanssen, 2002)	24
Figura 2.4 –	Parâmetros que afectam a qualidade do ambiente interior	25
Figura 2.5 –	Custo / benefício de alterações ao projecto no que respeita a redução dos consumos energéticos (Adaptado de ENSAR Group and E SOURCE)	26
Figura 2.6 –	Factores que influenciam a definição da envolvente do edifício	27
Figura 2.7 –	Representação esquemática dos diferentes parâmetros que influenciam a qualidade do ambiente interior (Adaptado de Hanssen, 2002)	31
Figura 2.8 –	Representação esquemática dos diferentes parâmetros que influenciam a temperatura percebida	37
Figura 2.9 –	Balanço térmico (Lamberts, 2007)	38
Figura 2.10 –	Desconforto localizado (Lamberts, 2002)	38
Figura 2.11 –	Factores que contribuem para o conforto térmico (Adaptado de: Lamberts, 2002)	39
Figura 2.12 –	Medidas para melhorar as condições para obtenção de conforto térmico e de qualidade do ar no interior das habitações (Green Vitruvius, 2001)	39
Figura 2.13 –	Temperatura média radiante (Fonte: Lamberts, 2007)	40
Figura 2.14 –	Relação entre PMV e PPD	43
Figura 2.15 –	Zonas de conforto de Inverno e de Verão de acordo com a ASHRAE 55 (Adaptado de ASHRAE 55, 2004)	44
Figura 2.16 –	Gama audível (Fonte: www.infoescola.com)	45
Figura 2.17 –	Medidas correctivas dos acabamentos e estrutura para obtenção de conforto acústico no interior das habitações (Green Vitruvius, 2001)	46
Figura 2.18 –	Medidas para a obtenção de condições de conforto lumínico (Green Vitruvius, 2001)	49
Figura 2.19 –	Consumos energéticos dos edifícios em função da área de envidraçados	52
Figura 2.20 –	Nível de insatisfeitos em função da iluminância (adaptado de Fisher, 1970)	54
Figura 2.21 –	Representação esquemática de algumas grandezas fotométricas	56
Figura 2.22 –	Aumento da produtividade em função da complexidade da tarefa e dos níveis de iluminação	59
Figura 2.23 –	Forma e orientação dos edifícios para otimizar a utilização da iluminação natural e dos ganhos solares	59

Figura 2.24 –	Influência da altura das janelas para a iluminação natural (Santos, 2005)	61
Figura 2.25 –	Influência da localização das janelas para a iluminação natural (Santos, 2005)	61
Figura 2.26 –	Influência da altura do envidraçado e da profundidade do compartimento para a eficácia da iluminação natural (Santos, 2005)	62
Figura 2.27 –	Complementaridade entre iluminação natural e artificial (Santos, 2001; Santos, 2005)	62
Figura 2.28 –	Sistemas de sombreamento exteriores	63
Figura 2.29 –	Sistemas de sombreamento interiores	63
Figura 2.30 –	Poupanças energéticas com o uso de dimmers controlados por sensores de nível de iluminação (Fonte: Florida Solar Energy Center)	66
Figura 2.31 –	Representação esquemática do modo de funcionamento de sensores de níveis de iluminação e de ocupação (Fonte: actilume)	66
Figura 2.32 –	Identificação de problemas em investigações de qualidade do ar interior (Santos, 2006)	67
Figura 2.33 –	Relação entre a produtividade e a insatisfação com a qualidade do ar de utilizadores de um edifício de escritórios estudado na Dinamarca (Adaptado de Wargocki, 2009)	68
Figura 2.34 –	Dimensões dos aerossóis (Fonte: Lisboa, 2006)	74
Figura 2.35 –	Influência da humidade relativa na produção de bactérias (adaptado de Tuomisto, 2009)	75
Figura 2.36 –	Requisitos de ventilação, definidos na normalização internacional, por pessoa, em edifícios de escritórios (Adaptado de Wouters, 2002).	78
Figura 2.37 –	Evolução das exigências de ventilação na ASHRAE 62-1989. “Ventilation for indoor air quality” (Adaptado de Hanssen, 2002)	78
Figura 2.38 –	Exigências de ventilação Segundo a norma ASHRAE 62.2 (Adaptado de Sherman, 2005)	79
Figura 2.39 –	Valores limite de concentração de CO ₂ usadas no Relatório Técnico CEN / CR 1752 de 1998 (Adaptado de Hanssen, 2002)	80
Figura 2.40 –	Produtividade como função da taxa de ventilação em relação ao desempenho com uma taxa de ventilação de 6,5 l/s.pessoa (Adaptado de Seppänen et al., 2006; Wargocki, 2009)	80

Capítulo 3 - Metodologia

Figura 3.1 –	Localização das Células de Teste do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções (Google Earth, 20/03/2006)	94
Figura 3.2 –	Vista do alçado Sul das Células de Teste de Edifícios não Convencionais	95
Figura 3.3 –	Planta das Células de Teste de Edifícios não Convencionais (distâncias em metros)	95
Figura 3.4 –	Alçados Norte, Sul, Este e Oeste das Células de Teste	96

Figura 3.5 –	Corte esquemático das Células de Teste (distâncias em metros)	97
Figura 3.6 –	Planta, corte e fotografia do alçado Sul da Célula de Teste não-Convencional	98
Figura 3.7 –	Corte esquemático das soluções construtivas não Convencionais das paredes	98
Figura 3.8 –	Corte esquemático das soluções construtivas não Convencionais das coberturas e dos pavimentos	99
Figura 3.9 –	Planta, corte e fotografia do alçado Sul da Célula de Teste Convencional.	100
Figura 3.10 –	Corte esquemático das soluções construtivas não Convencionais das paredes	100
Figura 3.11 –	Corte esquemático das soluções construtivas Convencionais das coberturas e dos pavimentos	101
Figura 3.12 –	Planta, alçado e foto da fachada Sul da Célula de Teste tipo Passys	102
Figura 3.13 –	Corte esquemático das soluções construtivas da Célula Passys para as paredes, cobertura e pavimento	103
Figura 3.14 –	Corte esquemático das soluções construtivas da Célula Passys para as paredes, cobertura e pavimento	104
Figura 3.15 –	Vista do alçado Sul das células de teste, sem e com estufa	105
Figura 3.16 –	Planta dos dois apartamentos definidos para a realização da simulação	107
Figura 3.17 –	Fotografias das fachadas, principal, a Sudeste e posterior, a Noroeste, do Edifício 1	109
Figura 3.18 –	Localização dos compartimentos onde o FLD foi avaliado	110
Figura 3.19 –	Vista geral e planta da Habitação 2.1	112
Figura 3.20 –	Vista geral e planta da Habitação 3	115
Figura 3.21 –	Vista geral e planta da Habitação 4	117
Figura 3.22 –	Vista geral e planta da Habitação 5.1	119
Figura 3.23 –	Vista geral e planta da Habitação 6.1	121
Figura 3.24 –	Alçado principal e planta da Habitação 7.1	123
Figura 3.25 –	Localização do Edifício 8 (Google Earth, 10/01/2009)	125
Figura 3.26 –	Alçado principal do Edifício 8	126
Figura 3.27 –	Planta da cave, R/C e 1º Andar do Edifício 8	126
Figura 3.28 –	Tipo de sistema de sombreamento, persiana de cor clara e cortina transparente de cor clara	127
Figura 3.29 –	Localização do Edifício 9 (Google Earth, 20/10/2008)	128
Figura 3.30 –	Esquema de princípio do EnergyPlus	131
Figura 3.31 –	Estrutura do EnergyPlus (EnergyPlus 2005)	132
Figura 3.32 –	Módulo de balanço térmico do EnergyPlus (EnergyPlus, 2005)	132
Figura 3.33 –	EP-LAUNCH gestor executivo do EnergyPlus	133

Figura 3.34 –	Representação das Células de Teste de Edifícios não Convencionais no EnergyPlus (Alçados Sul e Oeste e Planta de Cobertura)	135
Figura 3.35 –	Visualização 3D de um edifício no DesignBuilder	136
Figura 3.36 –	Organigrama representativo do funcionamento do DesignBuilder (Maile, 2007)	138
Figura 3.37 –	Organigrama representativo do funcionamento do Visual DOE	139
Figura 3.38 –	Visualização do VisualDOE	140
Figura 3.39 –	Possibilidades de análise de edifícios utilizando o Ecotect	142
Figura 3.40 –	Exportação do modelo criado no Ecotect	143
Figura 3.41 –	Representação de um edifício e da sua representação numa rede nodal - COMIS (Feustel, 1999)	143
Figura 3.42 –	Radiance	144
Figura 3.43 –	Visualização de resultados do Radiance	145
Figura 3.44 –	Bibliotecas do Radiance	145
Figura 3.45 –	Diferentes caminhos de propagação da energia sonora entre dois espaços adjacentes (Adaptado de Patrício, 2003)	147
Figura 3.46 –	Diferentes caminhos de propagação de ruído de impacto entre espaços (Adaptado de Patrício, 2003)	148
Figura 3.47 –	Ficheiro com os dados da geometria e isolamento sonoro do Acoubat Sound	148
Figura 3.48 –	Base de dados do desempenho acústico de soluções construtivas - dBMat	149
Figura 3.49 –	Localização do material de isolamento em paredes	150
Figura 3.50 –	Exemplos tipo de paredes simples, com isolamento pelo exterior e pelo interior	151
Figura 3.51 –	Exemplos tipo de paredes duplas, com isolamento na caixa-de-ar	152
Figura 3.52 –	Paredes divisórias tipo	155
Figura 3.53 –	Representação esquemática das coberturas	156
Figura 3.54 –	Exemplos de pavimentos em função do tipo de elemento resistente	157
Figura 3.55 –	Exemplos de pavimentos em função do tipo de solução construtiva e de revestimento de piso	160
Figura 3.56 –	Pormenor de ligação do rodapé	160
Figura 3.57 –	Exemplo de tipos de envidraçados	161

Capítulo 4 - Simulação do Comportamento Higrotérmico, Acústico, Lumínico e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios

Figura 4.1 –	Vista 3D da solução inicial para CT	169
Figura 4.2 –	Consumos energéticos das diferentes soluções construtivas da parede exterior	171
Figura 4.3 –	Consumos energéticos das diferentes soluções construtivas da laje de cobertura	172

Figura 4.4 –	Consumos energéticos em função da orientação dos envidraçados com sistema de sombreamento	172
Figura 4.5 –	Consumos energéticos em função da orientação dos envidraçados sem sistema de sombreamento	173
Figura 4.6 –	Consumos energéticos em função da existência ou não de sistema de sombreamento	174
Figura 4.7 –	Representação da importância relativa de cada variação implementada	174
Figura 4.8 –	Consumos energéticos para diferentes localizações	175
Figura 4.9 –	Perspectiva da geometria da solução inicial para otimização dos consumos energéticos de aquecimento	176
Figura 4.10 –	Consumos energéticos de aquecimento alterando a espessura de isolamento térmico da parede exterior	177
Figura 4.11 –	Consumos energéticos para diferentes soluções construtivas do envidraçado na estação de aquecimento	178
Figura 4.12 –	Consumos energéticos de aquecimento em função da orientação da fachada com envidraçado	178
Figura 4.13 –	Perspectiva da solução inicial para otimização dos consumos energéticos de arrefecimento	179
Figura 4.14 –	Consumos energéticos de arrefecimento alterando a espessura do pano de betão armado e a espessura de isolamento térmico da parede exterior	180
Figura 4.15 –	Consumos energéticos de arrefecimento alterando a solução construtiva dos envidraçados na estação de arrefecimento	181
Figura 4.16 –	Consumos energéticos em função da orientação da fachada com envidraçados na estação de arrefecimento	182
Figura 4.17 –	Consumos energéticos de arrefecimento em função das dimensões da pala horizontal	182
Figura 4.18 –	Consumos energéticos anuais alterando a espessura da caixa-de-ar e do isolamento térmico da parede exterior	184
Figura 4.19 –	Consumos energéticos anuais alterando a solução construtiva dos envidraçados	185
Figura 4.20 –	Consumos energéticos anuais em função da orientação da fachada com envidraçados	185
Figura 4.21 –	Consumos energéticos de arrefecimento em função das dimensões do envidraçado	186
Figura 4.22 –	Consumos energéticos anuais em função das dimensões da pala horizontal	187
Figura 4.23 –	Temperatura e humidade relativa no dia 3 de Janeiro (esquerda) e no dia 14 de Agosto (direita), na cozinha, no Quarto 3 da Habitação Tipo 1 e no exterior	191
Figura 4.24 –	Temperatura e humidade relativa no dia 3 de Janeiro (esquerda) e no dia 14 de Agosto (direita), na cozinha, no Quarto 3 da Habitação Tipo 2 e no exterior	192

Figura 4.25 –	Corte esquemático de algumas das soluções construtivas consideradas para os elementos construtivos (exteriores, interiores e divisórias)	193
Figura 4.26 –	Consumos energéticos anuais alterando a espessura da caixa-de-ar e do isolamento térmico da parede exterior	195
Figura 4.27 –	Temperatura ambiente interior e exterior para a Habitação Tipo 1, sem sistema de climatização, para o dia mais quente e para o dia mais frio do ano	196
Figura 4.28 –	Consumos energéticos e condições de conforto da Habitação Tipo 1	197
Figura 4.29 –	Temperatura ambiente interior e exterior para a Habitação Tipo 1, otimizada, com sistema de climatização, para o dia mais quente e para o dia mais frio do ano	198
Figura 4.30 –	Percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar em função da taxa de ventilação (em l/s.pessoa padrão e m ³ /h.pessoa padrão) (CEN CR 1752, 1998)	202
Figura 4.31 –	Relação entre a percentagem de pessoas descontentes e a concentração de CO ₂ acima da concentração exterior (Fanger, 1988; EUR 14449 EN)	203
Figura 4.32 –	Relação entre a percepção da qualidade do ar interior em decípol (Ci) e a percentagem de pessoas descontentes (PPD) (Fanger, 1988)	203
Figura 4.33 –	Geometria dos compartimentos para avaliar o comportamento acústico da Habitação tipo com diversas soluções construtivas	208
Figura 4.34 –	Comportamento acústico de diversos tipos de pavimentos em betão armado, sem revestimento	208
Figura 4.35 –	Comportamento acústico de pavimento com uma laje maciça com 20 cm, como elemento de suporte, com diversos tipos de revestimento de piso e de tecto falso	209
Figura 4.36 –	Comportamento acústico de diversos tipos de pavimento com lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos com 25 cm, como elemento de suporte, com diversos tipos de revestimento de piso	210
Figura 4.37 –	Corte esquemático do pavimento aligeirado com uma lajeta flutuante	210
Figura 4.38 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de granito e de tijolo cerâmico, para diferentes áreas de envidraçado ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	211
Figura 4.39 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de betão e blocos de argila expandida, termoargila e betão e leca ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	212
Figura 4.40 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de blocos de betão ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	212
Figura 4.41 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores duplas ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	213
Figura 4.42 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	213

Figura 4.43 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores, em função do tipo de envidraçado (Parede dupla de tijolo furado de 11 cm caixa-de-ar com 5 cm lâ mineral com 70kg/m ³ , tijolo furado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	214
Figura 4.44 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores simples (granito, tijolo cerâmico, betão armado, blocos de betão celular)	215
Figura 4.45 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores simples (blocos de betão, termoargila e de argila expandida)	215
Figura 4.46 –	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores duplas	216
Figura 4.47 –	Iluminância e FLD para o Quarto 1 do Edifício Tipo 1	218
Figura 4.48 –	Iluminância e FLD para o Quarto 1 do Edifício Tipo 1, com céu limpo	219
Figura 4.49 –	FLD para a cozinha do Edifício Tipo 1, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho	220
Figura 4.50 –	FLD para o Quarto 2 do Edifício Tipo 1, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho	220
Figura 4.51 –	FLD para a cozinha do Edifício Tipo 2, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho	221
Figura 4.52 –	FLD para o Quarto 2 do Edifício Tipo 2, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho	221
Figura 4.53 –	Vista em perspectiva das condições de iluminação natural no Quarto 2 do Edifício Tipo 1, com envidraçados com 1 m (à esquerda) e com 2m (à direita) de altura às 12 horas do dia 21 de Junho	222
Figura 4.54 –	FLD para o Quarto 2 do Edifício Tipo 1, às 12 horas do dia 21 de Dezembro	222
Figura 4.55 –	FLD para o Quarto 2 do Edifício Tipo 1, às 12 horas do dia 21 de Junho	223
Figura 4.56 –	Iluminância no Quarto 2 do Edifício Tipo 1, com envidraçado de 2 m de altura, às 12 horas do dia 21 de Junho	223
Figura 4.57 –	Planta com a representação da cozinha com um envidraçado, localizado na lavandaria, orientado a SE (Edifício 1.1) e representação do Factor de Luz do Dia	224
Figura 4.58 –	Planta com a representação das salas comum, com dois envidraçados, orientados a SE e SW e com um envidraçado, orientado a SE (Edifício 1.1) e representação do Factor de Luz do Dia	225
Figura 4.59 –	Planta com a representação da sala comum, com dois envidraçados, orientados a SE e NE e da sala comum, com um envidraçado, orientado a NE (Edifício 1.2) e representação do FLD	226
Figura 4.60 –	Planta com a representação do quarto com um envidraçado orientado a NW (Edifício 1.1) e representação do Factor de Luz do Dia respectivo	226
Figura 4.61 –	Planta com a representação do quarto com um envidraçado, orientado a SW (Edifício 1.2), estudado e representação do Factor de Luz do Dia	227
Figura 4.62 –	Simulação das condições de iluminação natural na Cozinha 4 com área de envidraçado superior	230

Figura 4.63 –	Valores de FLD para o Quarto 1 sem pala horizontal	231
Figura 4.64 –	Valores de FLD para a Sala 5.1 com altura de envidraçado superior	231

Capítulo 5 - Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios

Figura 5.1 –	Condições higrotérmicas no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) na sala da Habitação 8.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	236
Figura 5.2 –	Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 8.1	237
Figura 5.3 –	Condições higrotérmicas de Inverno (à esquerda) e de Verão (à direita) na cozinha da Habitação 8.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	238
Figura 5.4 –	Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 8.1	239
Figura 5.5 –	Condições higrotérmicas no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) no Quarto 8.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	239
Figura 5.6 –	Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 8.1	240
Figura 5.7 –	Condições higrotérmicas de Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) na sala da Habitação 8.2 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	241
Figura 5.8 –	Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 8.2	242
Figura 5.9 –	Condições higrotérmicas de Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) na cozinha da Habitação 8.2 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	243
Figura 5.10 –	Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 8.2	244
Figura 5.11 –	Condições higrotérmicas para o Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) no Quarto 8.2 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	244
Figura 5.12 –	Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 8.2	245
Figura 5.13 –	Concentrações de CO na Cozinha 8.1	251
Figura 5.14 –	Concentrações de CO na Cozinha 8.2	252
Figura 5.15 –	Concentrações de CO no Quarto 8.1	252
Figura 5.16 –	Concentrações de CO no Quarto 8.2	252
Figura 5.17 –	Concentrações de CO na Sala 8.1	253
Figura 5.18 –	Concentrações de CO na Sala 8.2	253
Figura 5.19 –	Concentrações de CO ₂ na Cozinha 8.1	254
Figura 5.20 –	Concentrações de CO ₂ na Cozinha 8.2	254
Figura 5.21 –	Concentrações de CO ₂ no Quarto 8.1	254
Figura 5.22 –	Concentrações de CO ₂ no Quarto 8.2	255
Figura 5.23 –	Concentrações de CO ₂ na Sala 8.1	255
Figura 5.24 –	Concentrações de CO ₂ na Sala 8.2	255

Figura 5.25 –	Concentrações de COV_{totais} na Cozinha 8.1	256
Figura 5.26 –	Concentrações de COV_{totais} no Quarto 8.1	256
Figura 5.27 –	Concentrações de COV_{totais} na Sala 8.1	256
Figura 5.28 –	Concentrações de COV_{totais} na Cozinha 8.2	257
Figura 5.29 –	Concentrações de COV_{totais} no Quarto 8.2	257
Figura 5.30 –	Concentrações de COV_{totais} na Sala 8.2	257
Figura 5.31 –	Concentrações de CHOH na Cozinha 8.1	258
Figura 5.32 –	Concentrações de CHOH no Quarto 8.1	258
Figura 5.33 –	Concentrações de CHOH na Sala 8.1	258
Figura 5.34 –	Concentrações de CHOH na Cozinha 8.2	259
Figura 5.35 –	Concentrações de CHOH no Quarto 8.2	259
Figura 5.36 –	Concentrações de CHOH na Sala 8.2	259
Figura 5.37 –	Concentrações de O_3 na Cozinha 8.1	260
Figura 5.38 –	Concentrações de O_3 no Quarto 8.1	260
Figura 5.39 –	Concentrações de O_3 na Sala 8.1	260
Figura 5.40 –	Concentrações de O_3 na Cozinha 8.2	261
Figura 5.41 –	Concentrações de O_3 no Quarto 8.2	261
Figura 5.42 –	Concentrações de O_3 na Sala 8.2	261
Figura 5.43 –	Concentrações de PM_{10} na Cozinha 8.1	262
Figura 5.44 –	Concentrações de PM_{10} na Cozinha 8.2	262
Figura 5.45 –	Concentrações de PM_{10} no Quarto 8.1	262
Figura 5.46 –	Concentrações de PM_{10} no Quarto 8.2	263
Figura 5.47 –	Concentrações de PM_{10} na Sala 8.1	263
Figura 5.48 –	Concentrações de PM_{10} na Sala 8.2	263
Figura 5.49 –	Concentrações de Radão na Sala 8.1	264
Figura 5.50 –	Concentrações de Radão na Sala 8.2	264
Figura 5.51 –	Localização dos pontos de medição no compartimentos onde o FLD foi avaliado	267
Figura 5.52 –	FLD médios obtidos na cozinha do rés-do-chão (C_0) com porta envidraçada da lavandaria orientada a SE	267
Figura 5.53 –	FLD médios obtidos na cozinha do 1º Andar (C_1) com a janela da lavandaria orientada a SE	268
Figura 5.54 –	FLD médios obtidos na sala comum do 1º Andar (S_{1SWSE}), com portas envidraçadas orientadas a SW e SE	269
Figura 5.55 –	FLD médios obtidos na sala comum do 1º Andar, com porta envidraçada orientada a SE (S_{1SE})	269

Figura 5.56 –	FLD médios obtidos no quarto do 1º Andar com porta envidraçada orientada a NW	270
Figura 5.57 –	FLD médios obtidos no quarto do 3º Andar com janela orientada a NW	270
Figura 5.58 –	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para a Sala 2.1, Habitação 2.1	272
Figura 5.59 –	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 2.1	273
Figura 5.60 –	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 2.1	273
Figura 5.61 –	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 3, Habitação 3	274
Figura 5.62 –	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 3	274
Figura 5.63 –	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 3	274
Figura 5.64 –	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 4, Habitação 4	275
Figura 5.65 –	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 4	275
Figura 5.66 –	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 4	275
Figura 5.67 –	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 5.1, Habitação 5.1	276
Figura 5.68 –	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 5.1	276
Figura 5.69 –	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 5.1	277
Figura 5.70 –	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 6.1	277
Figura 5.71 –	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 6.1	277
Figura 5.72 –	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 6.1	278
Figura 5.73 –	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 7.1, Habitação 7.1	278
Figura 5.74 –	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 7.1	279
Figura 5.75 –	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 7.1	279
Figura 5.76 –	Planta da sala da Habitação 8.2, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD	280
Figura 5.77 –	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 8.2	281
Figura 5.78 –	Planta da sala da Habitação 9.2, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD	281
Figura 5.79 –	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 8.1, Habitação 8.1	282
Figura 5.80 –	Representação esquemática das células de teste e das soluções construtivas ensaiadas (distancias em metros)	289
Figura 5.81 –	Isolamento sonoro das paredes Sul das Células de Teste 1 e 2 - Caso 1	290
Figura 5.82 –	Isolamento sonoro das paredes Este e Oeste das Células de Teste 1 e 2 - Caso 2	291

Figura 5.83 –	Isolamento sonoro das células de teste - Caso 3	292
Figura 5.84 –	Parede exterior tipo 4 – ParE4	292
Figura 5.85 –	Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede exterior 4, ParE4.1 e ParE4.2	293
Figura 5.86 –	Parede de separação entre habitações – Par1	294
Figura 5.87 –	Pormenor de ligação do rodapé à Par1	294
Figura 5.88 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Par1	295
Figura 5.89 –	Parede de separação entre habitações – Par1	296
Figura 5.90 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado das paredes Par16.1 e Par16.2	297
Figura 5.91 –	Pavimento de separação entre duas habitações com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo – Pav1	298
Figura 5.92 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento Pav1	299
Figura 5.93 –	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento Pav1	299
Figura 5.94 –	Pavimento de separação entre uma habitação e a zona de escritórios com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo, Pav2	300
Figura 5.95 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2	302
Figura 5.96 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2	302
Figura 5.97 –	Solução construtiva inicial	303
Figura 5.98 –	Corte da laje com representação da solução de reforço de isolamento acústico a adoptar, na ligação entre a parede e o tecto e na zona da viga, Pav3	303
Figura 5.99 –	Pormenores do processo de reabilitação acústica	303
Figura 5.100 –	Perspectiva da solução de reforço de isolamento acústico da parede a adoptar e pormenor de fixação das placas de gesso cartonado do pano de parede a executar à parede existente	304
Figura 5.101 –	Representação esquemática dos recintos estudados	304
Figura 5.102 –	Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i	305
Figura 5.103 –	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i	306
Figura 5.104 –	Representação esquemática dos pavimentos tipo 4 estudados	307
Figura 5.105 –	Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 4 - Pav4.i	308
Figura 5.106 –	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 4 - Pav4.i	309

Figura 5.107 –	Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 11 – Pav11.i	310
Figura 5.108 –	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i	311
Figura 5.109 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 12, Pav12	312
Figura 5.110 –	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 12, Pav12	312
Figura 5.111 –	Pavimento de separação entre duas habitações com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo – Pav13.1 e Pav13.2	313
Figura 5.112 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav13.1 e Pav13.2	314
Figura 5.113 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2	315
Figura 5.114 –	Pavimento de separação entre uma habitação e a zona de escritórios com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo	315
Figura 5.115 –	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 12, Pav12	316
Figura 5.116 –	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 14, Pav14	316
Figura 5.117 –	Representação esquemática do pavimento Pav15	317
Figura 5.118 –	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 15 – Pav15.i	318
Figura 5.119 –	Peso dado a cada parâmetro da qualidade do ambiente interior na Habitação 2.1	321
Figura 5.120 –	Pesos relativos aos parâmetros de qualidade do ambiente interior segundo os ocupantes da Habitação 3	321
Figura 5.121 –	Peso de cada um dos parâmetros de qualidade do ambiente interior de acordo com os ocupantes da Habitação 4	322
Figura 5.122 –	Peso de cada parâmetro da qualidade do ambiente interior na Habitação 5.1	323
Figura 5.123 –	Peso atribuído aos parâmetros da qualidade do ambiente interior na Habitação 6.1	323
Figura 5.124 –	Peso atribuído aos parâmetros da qualidade do ambiente interior na Habitação 7.1	324
Figura 5.125 –	Peso dado a cada parâmetro da qualidade do ambiente interior na Habitação 8.1	325
Figura 5.126 –	Peso dado a cada parâmetro da qualidade do ambiente interior na Habitação 8.2	325
Figura 5.127 –	Peso atribuído aos parâmetros da qualidade do ambiente interior pelos ocupantes das diversas habitações estudadas	326

Capítulo 6 - Optimização dos Edifícios para Assegurar a qualidade do Ambiente Interior

Figura 6.1 –	Janela de entrada da Matriz de Avaliações e janela de Resultados do CELECTRE	343
Figura 6.2 –	Janela de entrada da Matriz de Avaliações e janela de Resultados do CELECTRE	349
Figura 6.3 –	Janela de entrada da Matriz de Avaliações e janela de Resultados do CELECTRE	350

Anexo I - Equipamentos

Figura I.1 -	Estação meteorológica, com sensor de temperatura, humidade relativa, pressão atmosférica, direcção e velocidade do vento e radiação solar e data-logger CR800 da Campbell Scientific	362
Figura I.2 -	Pormenor do data-logger da estação meteorológica, com a forma de ligação dos sensores	362
Figura I.3 -	Sensor WXT520 da Vaisala	363
Figura I.4 -	Sensor CMP3-L da Kipp & Zonen	365
Figura I.5 -	Painel de ligação do CR10X AM16/32A da Campbell Scientific, Inc.	366
Figura I.6 -	Multiplexador AM16/32A da Campbell Scientific, Inc.	367
Figura I.7 -	Anemómetro de fio quente da LSI, SpA	369
Figura I.8 -	Sensor de fluxo de calor HFPO1 da Hukseflux	370
Figura I.9 -	Piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen (dimensões em mm, comprimento do cabo - 5 m)	371
Figura I.10 -	Resposta direccional e espectral do piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen	371
Figura I.11 -	Luxímetro HD 2021T da Delta Ohm	372
Figura I.12 -	Luminancímetro HD 2021T.6 da Delta Ohm	373
Figura I.13 -	Resposta espectral relativa do luminancímetro HD 2021T.6 da Delta Ohm	374
Figura I.14 -	Equipamento de medição (sensor de fluxo de calor e de temperatura superficial interior, sensor de temperatura ambiente e humidade relativa, luxímetro e anemómetro de fio quente, velocidade do vento)	375
Figura I.15 -	Estação de conforto	376
Figura I.16 -	Pormenor do módulo de controlo, HD32.1, da estação de conforto	377
Figura I.17 -	Porta ventiladora	382
Figura I.18 -	Elementos constituintes da porta ventiladora	383
Figura I.19 -	Dados obtidos do ensaio da porta ventiladora	386
Figura I.20 -	Sensor de COV: Photovac modelo 2020ppbPRO (www.photovac.com)	389
Figura I.21 -	Componentes principais do sensor de COV: Photovac model 2020ppbPRO (www.photovac.com)	390
Figura I.22 -	Mostrador do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO	390
Figura I.23 -	Sensor de formaldeído, Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 (www.environmentalsensors.com)	393
Figura I.24 -	Exemplo do ficheiro de resultados do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200	393
Figura I.25 -	Sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 (www.environmentalsensors.com)	395

Figura I.26 -	Exemplo do ficheiro de resultados do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200	396
Figura I.27 -	Mostrador do sensor de partículas DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531	397
Figura I.28 -	Mostrador do sensor de CO e de CO2 da Testo, modelo 435	399
Figura I.29 -	Sensor de radão (painel de controlo e caixa)	400
Figura I.30 -	Sonómetro CEL Instruments	402
Figura I.31 -	Fonte sonora, modelo 4224 da Bruel & Kjaer e gerador de ruído, modelo CEL 513	403
Figura I.32 -	Fotografia e ilustração de uma máquina de percussão normalizada, modelo 3204 da Bruel & Kjaer (Hamayon 1996)	403

Anexo II - Descrição dos Ensaios de Isolamento Acústico

Figura II.1 -	Curva de referência definida na ISO 717-1 para a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea por bandas de 1/3 oitava (16 bandas entre 100 e 3150 Hz)	407
Figura II.2 -	Curva de referência definida na ISO 717-2 para avaliação do isolamento sonoro a sons de percussão por bandas de 1/3 oitava (16 bandas entre 100 e 3150 Hz)	408

Anexo III - Resultados da Simulação Energética e do Comportamento Higrotérmico de Edifícios

Figura III.1 -	Excerto da rede de Nós utilizada na simulação com o programa Comis Studio	426
Figura III.2 -	Representação das diferentes zonas das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais, CTEñC	429
Figura III.3 -	Representação das Células Teste de Edifícios Não-Convencionais em perspectiva	429
Figura III.4 -	Distribuição relativa da incidência do vento ao longo do ano em Azurém, Guimarães	430
Figura III.5 -	Temperatura ambiente exterior de 26 a 31 de Março e de 11 a 16 de Junho	430
Figura III.6 -	Temperatura ambiente interior das diferentes zonas no período de 26 a 31 de Março, medidas in situ (linha contínua) e estimadas (linha a tracejado)	432
Figura III.7 -	Temperatura ambiente interior das diferentes zonas no período de 11 a 16 de Junho, medidas in situ (linha contínua) e estimadas (linha a tracejado)	433
Figura III.8 -	Temperatura ambiente exterior e temperatura ambiente interior estimada para as diferentes zonas na semana mais fria	434
Figura III.9 -	Temperatura ambiente exterior e temperatura ambiente interior estimada para as diferentes zonas na semana mais quente	435
Figura III.10 -	Planta dos Edifícios Tipo	436
Figura III.11 -	Planta de implantação do Edifício 1	461
Figura III.12 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 2.1	462

Figura III.13 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 2.1	462
Figura III.14 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 2.1	463
Figura III.15 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 3	464
Figura III.16 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 3	464
Figura III.17 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 3	465
Figura III.18 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 4	465
Figura III.19 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 4	466
Figura III.20 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 4	467
Figura III.21 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 5.1	467
Figura III.22 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 5.1	468
Figura III.23 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 5.1	468
Figura III.24 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 6.1	469
Figura III.25 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 6.1	470
Figura III.26 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 6.1	470
Figura III.27 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 7.1	471
Figura III.28 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 7.1	471
Figura III.29 -	Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 7.1	472
Figura III.30 -	Vista da fachada principal e perspectiva da Habitação 10	473
Figura III.31 -	Planta do rés-do-chão e do 1º andar da Habitação 10	473
Figura III.32 -	FLD na cozinha e nas salas da Habitação 10 estudadas	474
Figura III.33 -	FLD nos quartos da Habitação 10 estudados	474
Figura III.34 -	Perspectiva da Habitação 11	475
Figura III.35 -	Planta da Habitação 11	475
Figura III.36 -	FLD na cozinha e na sala da Habitação 11	476
Figura III.37 -	FLD nos quartos da Habitação 11 estudados	476

Anexo IV - Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios

Figura IV.1 -	Condições higrotérmicas na sala da Habitação 2.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	481
Figura IV.2 -	Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 2.1	482
Figura IV.3 -	Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 2.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	482
Figura IV.4 -	Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 2.1	483
Figura IV.5 -	Condições higrotérmicas no quarto da Habitação 2.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	484

Figura IV.6 -	Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 2.1	484
Figura IV.7 -	Condições higrotérmicas na sala da Habitação 3 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	485
Figura IV.8 -	Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 3	486
Figura IV.9 -	Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 3 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	487
Figura IV.10 -	Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 3	487
Figura IV.11 -	Condições higrotérmicas no Quarto da Habitação 3 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	488
Figura IV.12 -	Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 3	489
Figura IV.13 -	Condições higrotérmicas na sala da Habitação 4 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	490
Figura IV.14 -	Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 4	490
Figura IV.15 -	Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 4 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	491
Figura IV.16 -	Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 4	492
Figura IV.17 -	Condições higrotérmicas no Quarto 4 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	492
Figura IV.18 -	Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 4	493
Figura IV.19 -	Condições higrotérmicas na sala da Habitação 5.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	494
Figura IV.20 -	Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 5.1	495
Figura IV.21 -	Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 5.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	495
Figura IV.22 -	Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 5.1	496
Figura IV.23 -	Condições higrotérmicas no Quarto 5.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	497
Figura IV.24 -	Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 5.1	497
Figura IV.25 -	Condições higrotérmicas na sala da Habitação 6.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	498
Figura IV.26 -	Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 6.1	499
Figura IV.27 -	Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 6.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	500
Figura IV.28 -	Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 6.1	500
Figura IV.29 -	Condições higrotérmicas no Quarto 6.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	501
Figura IV.30 -	Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 6.1	502

Figura IV.31 -	Condições higrotérmicas na sala da Habitação 7.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	502
Figura IV.32 -	Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 7.1	503
Figura IV.33 -	Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 7.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	504
Figura IV.34 -	Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 7.1	505
Figura IV.35 -	Condições higrotérmicas no Quarto 7.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)	505
Figura IV.36 -	Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 7.1	506
Figura IV.37 -	Concentrações de CO na Cozinha 2.1	509
Figura IV.38 -	Concentrações de CO no quarto da Habitação 2.1	510
Figura IV.39 -	Concentrações de CO na sala da Habitação 2.1	510
Figura IV.40 -	Concentrações de CO ₂ na cozinha da Habitação 2.1	511
Figura IV.41 -	Concentrações de CO ₂ no Quarto 2.1	511
Figura IV.42 -	Concentrações de CO ₂ na Sala 2.1	512
Figura IV.43 -	Concentrações de COV _{totais} na cozinha 2.1	512
Figura IV.44 -	Concentrações de COV _{totais} no Quarto 2.1	513
Figura IV.45 -	Concentrações de COV _{totais} na Sala 2.1	513
Figura IV.46 -	Concentrações de CHOH na cozinha 2.1	514
Figura IV.47 -	Concentrações de CHOH no Quarto 2.1	514
Figura IV.48 -	Concentrações de CHOH na Sala 2.1	515
Figura IV.49 -	Concentrações de O ₃ na Cozinha 2.1	515
Figura IV.50 -	Concentrações de O ₃ no Quarto 2.1	516
Figura IV.51 -	Concentrações de O ₃ na Sala 2.1	516
Figura IV.52 -	Concentrações de PM ₁₀ na Cozinha 2.1	517
Figura IV.53 -	Concentrações de PM ₁₀ no Quarto 2.1	517
Figura IV.54 -	Concentrações de PM ₁₀ na Sala 2.1	518
Figura IV.55 -	Concentrações de CO para as 3 medições efectuadas na Cozinha 3	519
Figura IV.56 -	Concentrações de CO no Quarto 3	520
Figura IV.57 -	Concentrações de CO na Sala 3	520
Figura IV.58 -	Concentrações de CO ₂ na Cozinha 3	520
Figura IV.59 -	Concentrações de CO ₂ no Quarto 3	521
Figura IV.60 -	Concentrações de CO ₂ medidas na Sala 3	521
Figura IV.61 -	Concentrações de COV _{totais} medidas na Cozinha 3	522
Figura IV.62 -	Concentrações de COV _{totais} no Quarto 3	522

Figura IV.63 -	Concentrações de COV _{totais} na Sala 3	523
Figura IV.64 -	Concentrações de CHOH na Cozinha 3	523
Figura IV.65 -	Concentrações de CHOH no Quarto 3	524
Figura IV.66 -	Concentrações de CHOH na Sala 3	524
Figura IV.67 -	Concentrações de O ₃ na Cozinha 3	525
Figura IV.68 -	Concentrações de O ₃ no Quarto 3	525
Figura IV.69 -	Concentrações de O ₃ na Sala 3	525
Figura IV.70 -	Concentrações de PM ₁₀ na Cozinha 3	526
Figura IV.71 -	Concentrações de PM ₁₀ no Quarto 3	526
Figura IV.72 -	Concentrações de PM ₁₀ na Sala 3	527
Figura IV.73 -	Concentrações de CO na Cozinha 4	528
Figura IV.74 -	Concentrações de CO no Quarto 4	528
Figura IV.75 -	Concentrações de CO na Sala 4	528
Figura IV.76 -	Concentrações de CO ₂ na Cozinha 4	529
Figura IV.77 -	Concentrações de CO ₂ na Cozinha 4	529
Figura IV.78 -	Concentrações de CO ₂ na sala 4	530
Figura IV.79 -	Concentrações de COV _{totais} na cozinha 4	530
Figura IV.80 -	Concentrações de COV _{totais} no Quarto 4	531
Figura IV.81 -	Concentrações de COV _{totais} na Sala 4	531
Figura IV.82 -	Concentrações de CHOH na Cozinha 4	532
Figura IV.83 -	Concentrações de CHOH no Quarto 4	532
Figura IV.84 -	Concentrações de CHOH na Sala 4	532
Figura IV.85 -	Concentrações de O ₃ na cozinha 4	533
Figura IV.86 -	Concentrações de O ₃ no Quarto 4	533
Figura IV.87 -	Concentrações de O ₃ na Sala 4	533
Figura IV.88 -	Concentrações de PM ₁₀ na Cozinha 4	534
Figura IV.89 -	Concentrações de PM ₁₀ no Quarto 4	534
Figura IV.90 -	Concentrações de PM ₁₀ na Sala 4	535
Figura IV.91 -	Concentrações de CO medidas na Cozinha 5.1	536
Figura IV.92 -	Concentrações de CO no Quarto 5.1	536
Figura IV.93 -	Concentrações de CO na Sala 5.1	536
Figura IV.94 -	Concentrações de CO ₂ na Cozinha 5.1	537
Figura IV.95 -	Concentrações de CO ₂ no Quarto 5.1	537
Figura IV.96 -	Concentrações de CO ₂ na Sala 5.1	538

Figura IV.97 -	Concentrações de COV_{totais} na Cozinha 5.1	538
Figura IV.98 -	Concentrações de COV_{totais} no Quarto 5.1	539
Figura IV.99 -	Concentrações de COV_{totais} na Sala 5.1	539
Figura IV.100 -	Concentrações de CHOH na Cozinha 5.1	540
Figura IV.101 -	Concentrações de CHOH no Quarto 5.1	540
Figura IV.102 -	Concentrações de CHOH na Sala 5.1	540
Figura IV.103 -	Concentrações de O_3 na Cozinha 5.1	541
Figura IV.104 -	Concentrações de O_3 no Quarto 5.1	541
Figura IV.105 -	Concentrações de O_3 na Sala 5.1	541
Figura IV.106 -	Concentrações de PM_{10} na Cozinha 5.1	542
Figura IV.107 -	Concentrações de PM_{10} no Quarto 5.1	542
Figura IV.108 -	Concentrações de PM_{10} na Sala 5.1	543
Figura IV.109 -	Concentrações de CO na cozinha 6.1	544
Figura IV.110 -	Concentrações de CO no Quarto 6.1	544
Figura IV.111 -	Concentrações de CO na Sala 6.1	545
Figura IV.112 -	Concentrações de CO_2 na Cozinha 6.1	545
Figura IV.113 -	Concentrações de CO_2 no Quarto 6.1	546
Figura IV.114 -	Concentrações de CO_2 na Sala 6.1	546
Figura IV.115 -	Concentrações de COV_{totais} na Cozinha 6.1	547
Figura IV.116 -	Concentrações de COV_{totais} no Quarto 6.1	547
Figura IV.117 -	Concentrações de COV_{totais} na Sala 6.1	547
Figura IV.118 -	Concentrações de CHOH na Cozinha 6.1	548
Figura IV.119 -	Concentrações de CHOH no Quarto 6.1	548
Figura IV.120 -	Concentrações de CHOH na Sala 6.1	548
Figura IV.121 -	Concentrações de O_3 na Cozinha 6.1	549
Figura IV.122 -	Concentrações de O_3 no Quarto 6.1	549
Figura IV.123 -	Concentrações de O_3 na Sala 6.1	549
Figura IV.124 -	Concentrações de PM_{10} na Cozinha 6.1	550
Figura IV.125 -	Concentrações de PM_{10} no Quarto 6.1	550
Figura IV.126 -	Concentrações de PM_{10} na Sala 6.1	551
Figura IV.127 -	Concentrações de CO na Cozinha 7.1	552
Figura IV.128 -	Concentrações de CO no Quarto 7.1	552
Figura IV.129 -	Concentrações de CO na Sala 7.1	552
Figura IV.130 -	Concentrações de CO_2 na Cozinha 7.1	553

Figura IV.131 -	Concentrações de CO ₂ no Quarto 7.1	553
Figura IV.132 -	Concentrações de CO ₂ na Sala 7.1	554
Figura IV.133 -	Concentrações de COV _{totais} na Cozinha 7.1	554
Figura IV.134 -	Concentrações de COV _{totais} no Quarto 7.1	555
Figura IV.135 -	Concentrações de COV _{totais} na Sala 7.1	555
Figura IV.136 -	Concentrações de CHOH na Cozinha 7.1	555
Figura IV.137 -	Concentrações de CHOH no Quarto 7.1	556
Figura IV.138 -	Concentrações de CHOH na Sala 7.1	556
Figura IV.139 -	Concentrações de O ₃ na Cozinha 7.1	556
Figura IV.140 -	Concentrações de O ₃ no Quarto 7.1	557
Figura IV.141 -	Concentrações de O ₃ na Sala 7.1	557
Figura IV.142 -	Concentrações de PM ₁₀ na Cozinha 7.1	558
Figura IV.143 -	Concentrações de PM ₁₀ no Quarto 7.1	558
Figura IV.144 -	Concentrações de PM ₁₀ na Sala 7.1	558
Figura IV.145 -	Método de medição do FLD	560
Figura IV.146 -	Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 2.1, com indicação da malha de medição do FLD	561
Figura IV.147 -	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para a Sala 2.1, Habitação 2.1	561
Figura IV.148 -	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 2.1	562
Figura IV.149 -	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 2.1	562
Figura IV.150 -	Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 3, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD	563
Figura IV.151 -	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 3, Habitação 3	563
Figura IV.152 -	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 3	564
Figura IV.153 -	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 3	564
Figura IV.154 -	Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 4, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD	565
Figura IV.155 -	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 4, Habitação 4	566
Figura IV.156 -	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 4	566
Figura IV.157 -	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 4	567
Figura IV.158 -	Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 5.1, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD	567

Figura IV.159 -	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 5.1, Habitação 5.1	568
Figura IV.160 -	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 5.1	568
Figura IV.161 -	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 5.1	569
Figura IV.162 -	Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 6.1, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD	569
Figura IV.163 -	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 6.1	570
Figura IV.164 -	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 6.1	570
Figura IV.165 -	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 6.1	571
Figura IV.166 -	Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 7.1, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD	571
Figura IV.167 -	Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 7.1, Habitação 7.1	572
Figura IV.168 -	Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 7.1	572
Figura IV.169 -	Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 7.1	573
Figura IV.170 -	Representação esquemática das células de teste e das soluções construtivas ensaiadas (distancias em metros)	576
Figura IV.171 -	Isolamento sonoro das paredes Sul das Células de Teste 1 e 2 - Caso 1	578
Figura IV.172 -	Isolamento sonoro das paredes Este e Oeste das Células de Teste 1 e 2 - Caso 2	579
Figura IV.173 -	Isolamento sonoro das células de teste - Caso 3	580
Figura IV.174 -	Planta do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede exterior 1, ParE1	581
Figura IV.175 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede exterior 1, ParE1	582
Figura IV.176 -	Planta do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede exterior 2, ParE2	583
Figura IV.177 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede exterior 2, ParE2	583
Figura IV.178 -	Planta do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede exterior 3, ParE3	584
Figura IV.179 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede exterior 3, ParE3	585
Figura IV.180 -	Parede exterior tipo 4 - ParE4	585
Figura IV.181 -	Planta dos recintos receptores dos ensaios de avaliação do isolamento da parede exterior 3, ParE4	586
Figura IV.182 -	Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede exterior 4, ParE4.1 e ParE4.2	587
Figura IV.183 -	Parede de separação entre habitações - ParI1	588

Figura IV.184 -	Pormenor de ligação do rodapé à Par1	588
Figura IV.185 -	Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior Par1	589
Figura IV.186 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Par1	589
Figura IV.187 -	Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior Par2	590
Figura IV.188 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Par2	591
Figura IV.189 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Par3	592
Figura IV.190 -	Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior Par4	593
Figura IV.191 -	Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede interior 4, ParE4.1 e ParE4.2	594
Figura IV.192 -	Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior Par5	595
Figura IV.193 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Par5	595
Figura IV.194 -	Parede de separação entre habitações - Par1	596
Figura IV.195 -	Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior 6 - Par6	596
Figura IV.196 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado das paredes Par6.1 e Par6.2	597
Figura IV.197 -	Pavimento de separação entre duas habitações com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo - Pav1	598
Figura IV.198 -	Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento do pavimento - Pav1	599
Figura IV.199 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento Pav1	600
Figura IV.200 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento Pav1	600
Figura IV.201 -	Pavimento de separação entre uma habitação e a zona de escritórios com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo, Pav2	601
Figura IV.202 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2	603
Figura IV.203 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2	603
Figura IV.204 -	Solução construtiva inicial	604
Figura IV.205 -	Corte da laje com representação da solução de reforço de isolamento acústico a adoptar, na ligação entre a parede e o tecto e na zona da viga, Pav3	604
Figura IV.206 -	Pormenores do processo de reabilitação acústica	605

Figura IV.207 -	Perspectiva da solução de reforço de isolamento acústico da parede a adoptar e pormenor de fixação das placas de gesso cartonado do pano de parede a executar à parede existente	605
Figura IV.208 -	Representação esquemática dos recintos estudados	606
Figura IV.209 -	Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 3 - Pav3.i	607
Figura IV.210 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 3 - Pav3.i	607
Figura IV.211 -	Representação esquemática dos pavimentos tipo 4 estudados	608
Figura IV.212 -	Representação esquemática dos recintos estudados	609
Figura IV.213 -	Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 4 - Pav4.i	610
Figura IV.214 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 4 - Pav4.i	611
Figura IV.215 -	Representação esquemática dos recintos estudados	612
Figura IV.216 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 5, Pav5	613
Figura IV.217 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 5, Pav5	613
Figura IV.218 -	Representação esquemática do recinto estudado	614
Figura IV.219 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 6, Pav6	615
Figura IV.220 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 6, Pav6	615
Figura IV.221 -	Representação esquemática do recinto estudado	616
Figura IV.222 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 7, Pav7	617
Figura IV.223 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 7, Pav7	617
Figura IV.224 -	Representação esquemática do recinto estudado	618
Figura IV.225 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 8, Pav8	619
Figura IV.226 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 8, Pav8	619
Figura IV.227 -	Representação esquemática dos recintos estudados	620
Figura IV.228 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 9, Pav9	621
Figura IV.229 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 9, Pav9	621
Figura IV.230 -	Representação esquemática dos recintos estudados (o recinto emissor e o recinto receptor são iguais)	622
Figura IV.231 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 10, Pav10	623
Figura IV.232 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 10, Pav10	623
Figura IV.233 -	Representação esquemática dos recintos estudados (o recinto emissor e o recinto receptor são iguais)	624

Figura IV.234 -	Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 11 - Pav11.i	625
Figura IV.235 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 3 - Pav3.i	626
Figura IV.236 -	Representação esquemática dos recintos estudados	627
Figura IV.237 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 12, Pav12	627
Figura IV.238 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 12, Pav12	628
Figura IV.239 -	Pavimento de separação entre duas habitações com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo - Pav13.1 e Pav13.2	629
Figura IV.240 -	Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento do pavimento - Pav.13 (o recinto emissor e o recinto receptor são iguais)	629
Figura IV.241 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav13.1 e Pav13.2	630
Figura IV.242 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2	631
Figura IV.243 -	Pavimento de separação entre uma habitação e a zona de escritórios com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo	631
Figura IV.244 -	Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento do pavimento - Pav.14	632
Figura IV.245 -	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 12, Pav12	633
Figura IV.246 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 14, Pav14	633
Figura IV.247 -	Representação esquemática do pavimento Pav15	634
Figura IV.248 -	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 15 - Pav15.i	635

Índice de Tabelas

Capítulo 2 - A Sustentabilidade e o Conforto das Construções

Tabela 2.1 -	Condições térmicas no interior dos edifícios para existência de conforto térmico (RCCTE, 2006; Tuomisto, 2009)	17
Tabela 2.2 -	Valores de PPD e PMV correspondentes a cada categoria de conforto térmico (EN 15251, 2007)	17
Tabela 2.3 -	Valor recomendado para as temperaturas em vários espaços interiores de edifícios de habitação (EN 15251:2007)	18
Tabela 2.4 -	Impactes dos parâmetros fundamentais da qualidade do ambiente interior (Adaptado de Gitahy, 2007)	31
Tabela 2.5 -	Diferenças entre a resposta humana às condições ambientais (Adaptado de Hanssen, 2002)	32
Tabela 2.6 -	Diferentes análises da Qualidade do Ambiente Interior (Hanssen, 2002)	33
Tabela 2.7 -	Principais variáveis independentes envolvidas no balanço térmico entre o homem e o ambiente	40
Tabela 2.8 -	Escala de sensações térmicas de 7 pontos	43
Tabela 2.9 -	Gama de níveis de pressão sonora recomendados pela EN ^o 15251	46
Tabela 2.10 -	Requisitos acústicos para edifícios habitacionais e mistos segundo o RRAE (RRAE, 2008)	48
Tabela 2.11 -	luminâncias recomendadas no plano de trabalho em edifícios residenciais (CIE, 1975; Santos, 2001; Santos, 2005)	58
Tabela 2.12 -	Valores recomendados para o factor de luz do dia, FLD, em edifícios residenciais (Goulding, 1992; Santos, 2001; Santos, 2005)	58
Tabela 2.13 -	Quociente de luminâncias máximos recomendados (CIE, 1975; Santos, 2001)	58
Tabela 2.14 -	Reflectâncias recomendadas (CIE, 1975; Santos, 2001; Santos, 2005)	58
Tabela 2.15 -	Odores como indicadores de problemas nos edifícios	69
Tabela 2.16 -	Relação entre os poluentes, as suas fontes e os seus efeitos (APA, 2009; Almeida, 2006; Araújo, 2007)	72
Tabela 2.17 -	Concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios (NT-SCE-02, 2009)	75

Capítulo 3 - Metodologia

Tabela 3.1 -	Área e Volume das Células de Teste de Edifícios não Convencionais	96
Tabela 3.2 -	Características dos elementos construtivos das Células de Teste de Edifícios não Convencionais	105

Tabela 3.3 -	Características dos Edifícios Base	108
Tabela 3.4 -	Características dos elementos construtivos	108
Tabela 3.5 -	Reflectância das superfícies interiores das habitações analisadas	111
Tabela 3.6 -	Propriedades dos envidraçados	111
Tabela 3.7 -	Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados - Edifício 1	111
Tabela 3.8 -	Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 2.1	113
Tabela 3.9 -	Características dos vãos envidraçados da Habitação 2.1	113
Tabela 3.10 -	Características dos compartimentos da Habitação 2.1	114
Tabela 3.11 -	Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 3	115
Tabela 3.12 -	Características dos vãos envidraçados da Habitação 3	115
Tabela 3.13 -	Características dos compartimentos da Habitação 3	116
Tabela 3.14 -	Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 4	117
Tabela 3.15 -	Características dos vãos envidraçados da Habitação 4	118
Tabela 3.16 -	Características dos compartimentos da Habitação 4	119
Tabela 3.17 -	Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 5.1	120
Tabela 3.18 -	Características dos vãos envidraçados da Habitação 5.1	120
Tabela 3.19 -	Características dos compartimentos da Habitação 5.1	121
Tabela 3.20 -	Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 6.1	122
Tabela 3.21 -	Características dos vãos envidraçados da Habitação 6.1	122
Tabela 3.22 -	Características dos compartimentos da Habitação 6.1	123
Tabela 3.23 -	Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 7.1	124
Tabela 3.24 -	Características dos vãos envidraçados da Habitação 7.1	124
Tabela 3.25 -	Características dos compartimentos da Habitação 7.1	125
Tabela 3.26 -	Características geométricas das habitações do Edifício 8	127
Tabela 3.27 -	Características geométricas das habitações do Edifício 9	128
Tabela 3.28 -	Paredes simples (com isolamento pelo exterior e pelo interior) - material e sua localização (segundo a numeração apresentada na Figura 3.50)	152
Tabela 3.29 -	Paredes duplas (com isolamento pelo exterior, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar ou pelo interior) - material e sua localização, (segundo a numeração apresentada na Figura 3.51)	153
 Capítulo 4 - Simulação do Comportamento Higrotérmico, Acústico, Lumínico e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios		
Tabela 4.1 -	Área de envidraçados das Habitações Tipo	193
Tabela 4.2 -	Valores indicativos da qualidade do ar (Fanger, 1988)	201

Tabela 4.3 -	Níveis de Qualidade do Ar (CEN CR 1752, 1998)	202
Tabela 4.4 -	Emissão olfativa de alguns elementos (Fanger, 1988)	204
Tabela 4.5 -	Carga sensorial de poluentes emitidos pelos ocupantes	204
Tabela 4.6 -	Carga sensorial de poluentes emitidos pelos materiais do edifício (Wargocki, 1999)	205
Tabela 4.7 -	Taxas de ventilação recomendadas em fracções residenciais (fonte: EN 15251, 2007)	206
Tabela 4.8 -	Caudais mínimos de ar novo em compartimentos de diversos tipos de edifícios (fonte: RCCTE, 2006)	206
Tabela 4.9 -	Percepção da Qualidade do ar nos apartamentos tipo, novos, com materiais não pouco poluentes	207
Tabela 4.10 -	Percepção da Qualidade do ar nos apartamentos tipo, novos, com materiais pouco poluentes	207
Tabela 4.11 -	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes de fachada da Habitação Tipo 1 ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	211

Capítulo 5 - Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios

Tabela 5.1 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 8.1	236
Tabela 5.2 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 8.1	238
Tabela 5.3 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 8.1	240
Tabela 5.4 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 8.2	241
Tabela 5.5 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 8.2	243
Tabela 5.6 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 8.2	245
Tabela 5.7 -	Dados relativos à avaliação da situação de conforto térmico dos ocupantes para os diversos compartimentos avaliados nos Edifícios 2 a 8, para o Inverno	246
Tabela 5.8 -	Dados relativos à avaliação da situação de conforto térmico dos ocupantes para os diversos compartimentos avaliados no Edifício 8, para o Verão	247
Tabela 5.9 -	Concentração máxima de poluentes medidas no exterior	251
Tabela 5.10 -	Iluminâncias exteriores médias medidas na vertical e Iluminância média do céu encoberto	266
Tabela 5.11 -	FLD médios obtidos na cozinha do rés-do-chão (C0) com porta envidraçada na lavandaria orientada a SE e na cozinha do 1º Andar (C1) com a janela da lavandaria orientada a SE	268
Tabela 5.12 -	FLD médios obtidos nas salas comuns do 1º Andar	269
Tabela 5.13 -	FLD médios obtidos nos quartos do 1º Andar e do 3º Andar com envidraçados orientados a NW	271

Tabela 5.14 -	FLD medidos e recomendados para os diversos compartimentos avaliados no Edifício 1	271
Tabela 5.15 -	Iluminâncias medidos nos diversos compartimentos avaliados no Edifício 1	272
Tabela 5.16 -	Iluminância e FLD obtidos para a Sala 8.2 em condições de iluminação natural	280
Tabela 5.17 -	Iluminância e FLD obtidos para a Sala 9.2 em condições de iluminação natural	282
Tabela 5.18 -	FLD medidos e recomendados para os diversos compartimentos avaliados	283
Tabela 5.19 -	Iluminâncias medidos nos diversos compartimentos avaliados no Edifício 2 a 7	284
Tabela 5.20 -	Valores de LAeq, em dB(A), medidos na Habitação 2.1	285
Tabela 5.21 -	Valores de LAeq, em dB(A), medidos na Habitação 3	286
Tabela 5.22 -	Valores de LAeq, em dB(A), medidos na Habitação 4	286
Tabela 5.23 -	Valores de LAeq, em dB(A), medidos na Habitação 5.1	286
Tabela 5.24 -	Valores de LAeq, em dB(A), medidos na Habitação 6.1	287
Tabela 5.25 -	Valores de LAeq, em dB(A), medidos na Habitação 7.1	287
Tabela 5.26 -	Valores de LAeq, em dB(A), medidos na Habitação 8.1 e na Habitação 8.2	288
Tabela 5.27 -	Nível sonoro medido e recomendado para os diversos compartimentos avaliados nos compartimentos dos Edifícios 2 a 8	288
Tabela 5.28 -	Desempenho acústico das células de teste - $D_{2m, nr, w}$ (Caso 1 - sem a marquise e com a divisória aberta; Caso 2 - com a marquise e com a divisória aberta (A) e fechada (F); e Caso 3 - com a marquise a 0,1 m e a 1,0 m e com a divisória aberta (A) e fechada (F))	290
Tabela 5.29 -	Dados relativos aos recintos receptores - ParE4	293
Tabela 5.30 -	Dados relativos às medições acústicas da ParE4.1 e da ParE4.2	293
Tabela 5.31 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Par1	295
Tabela 5.32 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Par16	296
Tabela 5.33 -	Dados relativos às medições acústicas da Par16.1 e da Par16.2	296
Tabela 5.34 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav1	298
Tabela 5.35 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav2	301
Tabela 5.36 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav2.1 sem isolamento e Pav2.2, com isolamento	301
Tabela 5.37 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav3	304
Tabela 5.38 -	Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 3 - Pav3.i	305
Tabela 5.39 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav4	307
Tabela 5.40 -	Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 4 - Pav4.i	308
Tabela 5.41 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav11	309
Tabela 5.42 -	Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 11 - Pav11.i	310
Tabela 5.43 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav12	311

Tabela 5.44 –	Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav.13	313
Tabela 5.45 –	Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav13.1 e Pav13.2	314
Tabela 5.46 –	Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav14	315
Tabela 5.47 –	Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav15	317
Tabela 5.48 –	Isolamento acústico conferido pelas paredes, exteriores e interiores, estudadas	318
Tabela 5.49 –	Isolamento acústico conferido pelas paredes, exteriores e interiores, estudadas	319
Tabela 5.50 –	Isolamento acústico conferido pelos pavimentos estudados	319

Capítulo 6 - Optimização dos Edifícios para Assegurar a qualidade do Ambiente Interior

Tabela 6.1 –	Matriz de Avaliação	341
Tabela 6.2 –	Pesos atribuídos aos diferentes factores que afectam a Qualidade Ambiente Interior (Rohles et al., 1987)	347
Tabela 6.3 –	Crítérios definidos, limites de preferência, indiferença e de veto e pesos atribuídos às diferentes categorias	348
Tabela 6.4 –	Caracterização das soluções	349

Anexo I - Equipamentos

Tabela I.1 –	Especificações técnicas dos componentes do data-logger CR800 da Campbell Scientific	363
Tabela I.2 –	Especificações técnicas dos componentes do sensor WXT520 da Vaisala	364
Tabela I.3 –	Especificações técnicas do piranómetro CMP3-L da Kipp & Zonen	365
Tabela I.4 –	Especificações técnicas do CR10X AM16/32A da Campbell Scientific, Inc.	367
Tabela I.5 –	Especificações técnicas do multiplexador AM16/32A da Campbell Scientific, Inc.	368
Tabela I.6 –	Especificações técnicas do anemómetro de fio quente da LSI, SpA	369
Tabela I.7 –	Especificações técnicas do fluxímetro HFP01 da Hukseflux	370
Tabela I.8 –	Especificações técnicas dos termopares tipo T	371
Tabela I.9 –	Especificações técnicas do piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen	372
Tabela I.10 –	Especificações técnicas do luxímetro HD 2021T da Delta Ohm	373
Tabela I.11 –	Especificações técnicas do luminancímetro HD 2021T.6 da Delta Ohm	374
Tabela I.12 –	Especificações técnicas dos componentes da estação de conforto	380
Tabela I.13 –	Capacidade de memória da estação de conforto	380
Tabela I.14 –	Características de ligação da estação de conforto	381
Tabela I.15 –	Dados do ensaio da porta ventiladora	385
Tabela I.16 –	Especificações dos componentes da porta ventiladora	387

Tabela I.17 -	Especificações dos componentes do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO	391
Tabela I.18 -	Número de horas de registo em função do intervalo de medição do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO	392
Tabela I.19 -	Especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 (www.environmentalsensors.com)	394
Tabela I.20 -	Sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 (www.environmentalsensors.com)	394
Tabela I.21 -	Especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 (www.environmentalsensors.com)	396
Tabela I.22 -	Sensibilidade do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 (www.environmentalsensors.com)	397
Tabela I.23 -	Especificações dos componentes do sensor de do sensor de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531	398
Tabela I.24 -	Especificações dos componentes do sensor de do sensor de CO e CO ₂ , Testo 435	399
Tabela I.25 -	Especificações do sensor de radão	401
Tabela I.26 -	Erro do sensor de radão em função da concentração e do período de medição	401

Anexo II - Descrição dos Ensaios de Isolamento Acústico

Tabela II.1 -	Correcção do nível sonoro no recinto receptor em função do ruído de fundo	406
---------------	---	-----

Anexo III - Resultados da Simulação Energética e do Comportamento Higtotérmico de Edifícios

Tabela III.1 -	Consumos energéticos para aquecimento (CI), para arrefecimento (CV) e globais (CT)	414
Tabela III.2 -	Consumos energéticos para aquecimento (CI), para arrefecimento (CV) e globais (CT), Cont.	415
Tabela III.3 -	Consumos energéticos para aquecimento (CI), para arrefecimento (CV) e globais (CT), Cont.	416
Tabela III.4 -	Consumos energéticos das diferentes soluções construtivas da parede exterior	416
Tabela III.5 -	Consumos energéticos das diferentes soluções construtivas da laje de cobertura	417
Tabela III.6 -	Consumos energéticos em função da orientação dos envidraçados com sistema de sombreamento	417
Tabela III.7 -	Consumos energéticos em função da orientação dos envidraçados sem sistema de sombreamento	417
Tabela III.8 -	Consumos energéticos em função da existência ou não de sistema de sombreamento, para envidraçados orientados a Sul	418
Tabela III.9 -	Importância relativa de cada variação implementada	418
Tabela III.10 -	Consumos energéticos para diferentes localizações	418

Tabela III.11 -	Comparação dos consumos energéticos de aquecimento alterando a espessura de isolamento térmico da parede exterior	419
Tabela III.12 -	Consumos energéticos para diferentes soluções construtivas do envidraçado na estação de aquecimento	420
Tabela III.13 -	Consumos energéticos de aquecimento em função da orientação da fachada com envidraçado	420
Tabela III.14 -	Consumos energéticos alterando a espessura do pano de betão armado e a espessura de isolamento térmico da parede exterior, para a estação de arrefecimento	421
Tabela III.15 -	Consumos energéticos de arrefecimento alterando a solução construtiva dos envidraçados na estação de arrefecimento	421
Tabela III.16 -	Consumos energéticos em função da orientação da fachada com envidraçados na estação de arrefecimento	422
Tabela III.17 -	Consumos energéticos de arrefecimento em função das dimensões da pala horizontal	422
Tabela III.18 -	Consumos energéticos anuais alterando a espessura da caixa-de-ar e do isolamento térmico da parede exterior	423
Tabela III.19 -	Consumos energéticos anuais alterando a solução construtiva dos envidraçados	423
Tabela III.20 -	Consumos energéticos anuais em função da orientação da fachada com envidraçados	424
Tabela III.21 -	Consumos energéticos de arrefecimento em função das dimensões do envidraçado	424
Tabela III.22 -	Consumos energéticos anuais em função das dimensões da pala horizontal	425
Tabela III.23 -	Valores dos fluxos predominantes entre os diferentes Zonas das CTEñC para o Inverno	427
Tabela III.24 -	Valores dos fluxos predominantes entre as diferentes Zonas das CTEñC para um dia de Verão	428
Tabela III.25 -	Comparação dos dados medidos in situ e estimados no período entre 26 e 31 de Março	431
Tabela III.26 -	Comparação dos dados medidos in situ e estimados no período entre 11 e 16 de Junho	432
Tabela III.27 -	Características das soluções construtivas	438
Tabela III.28 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de betão armado e poliestireno expandido extrudido colocado pelo exterior e envidraçados com 1 m de altura	439
Tabela III.29 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm e poliestireno expandido extrudido colocado pelo exterior e pelo interior, com envidraçados com 1 m de altura	440

Tabela III.30 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores duplas (de tijolo cerâmico furado, com tijolo maciço, blocos de betão e duplas com placagem de pedra e betão armado) e poliestireno expandido extrudido ou lã mineral colocados na caixa de ar e envidraçados com 1 m de altura	441
Tabela III.31 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm e poliestireno expandido extrudido colocado pelo interior, com paredes divisórias leves com placas de gesso cartonado e envidraçados com 1 m de altura	442
Tabela III.32 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de betão armado de tijolo cerâmico furado com 22 cm e poliestireno expandido extrudido colocado pelo exterior e envidraçados com 2 m de altura	443
Tabela III.33 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores duplas (de tijolo cerâmico furado, com tijolo maciço, blocos de betão e betão armado) e poliestireno expandido extrudido ou lã mineral colocados na caixa de ar e envidraçados com 2 m de altura	444
Tabela III.34 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm e poliestireno expandido extrudido colocado pelo interior, com paredes divisórias leves com placas de gesso cartonado e envidraçados com 2 m de altura	445
Tabela III.35 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de betão armado e poliestireno expandido extrudido colocado pelo exterior e pelo interior, envidraçados com 2 m de altura e vidros com baixa emissividade	446
Tabela III.36 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm e poliestireno expandido extrudido colocado pelo exterior e envidraçados com 2 m de altura e vidros com baixa emissividade	447
Tabela III.37 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores duplas (de tijolo cerâmico furado, com tijolo maciço e blocos de betão) e poliestireno expandido extrudido ou lã mineral colocados na caixa de ar e envidraçados com 2 m de altura e vidros com baixa emissividade	448
Tabela III.38 -	Consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm e poliestireno expandido extrudido colocado pelo interior, com paredes divisórias leves com placas de gesso cartonado e envidraçados com 2 m de altura e vidros com baixa emissividade	449
Tabela III.39 -	Consumos energéticos e condições de conforto da Habitação Tipo 1	450
Tabela III.40 -	Comportamento acústico de diversos tipos de pavimentos	451
Tabela III.41 -	Comportamento acústico de pavimento com uma laje maciça como elemento de suporte, com diversos tipos de revestimento de piso e de tecto falso	452
Tabela III.42 -	Comportamento acústico de diversos tipos de pavimento com lajes aligeiradas como elemento de suporte, com diversos tipos de revestimento de piso	453
Tabela III.43 -	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes de fachada da Habitação Tipo 1 ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	454

Tabela III.44 -	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de tijolo cerâmico e de granito ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	455
Tabela III.45 -	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de betão e de blocos de betão ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	456
Tabela III.46 -	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores duplas ($D_{2m, nT, W}$ em dB)	457
Tabela III.47 -	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores, da Habitação Tipo 1, para diferentes tipos de envidraçados	458
Tabela III.48 -	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores simples	459
Tabela III.49 -	Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores duplas	460
Tabela III.50 -	FLD para os compartimentos da Habitação 10 estudados	475
Tabela III.51 -	FLD para os compartimentos da Habitação 10 estudados	477

Anexo IV - Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios

Tabela IV.1 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 2.1	481
Tabela IV.2 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 2.1	483
Tabela IV.3 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Quarto 2.1	484
Tabela IV.4 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 3	486
Tabela IV.5 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 3	487
Tabela IV.6 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 3	488
Tabela IV.7 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 4	490
Tabela IV.8 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 4	491
Tabela IV.9 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 4	493
Tabela IV.10 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Sala 5.1	494
Tabela IV.11 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 5.1	496
Tabela IV.12 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Quarto 5.1	497
Tabela IV.13 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 6.1	499
Tabela IV.14 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 6.1	500
Tabela IV.15 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 6.1	501
Tabela IV.16 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 7.1	503
Tabela IV.17 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 7.1	504
Tabela IV.18 -	Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 7.1	506

Tabela IV.19 –	Factores de conversão de gases em fracções molares em partes por milhão (ppm) para concentrações (mg/m ³) normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa (NT-SCE-02, versão draft, 2009)	508
Tabela IV.20 –	Concentração máxima de poluentes no exterior (www.qualar.org)	509
Tabela IV.21 –	Concentração máxima de poluentes no exterior (www.qualar.org)	519
Tabela IV.22 –	Concentração máxima de poluentes no exterior (www.qualar.org)	527
Tabela IV.23 –	Concentração máxima de poluentes no exterior (www.qualar.org)	535
Tabela IV.24 –	Concentração máxima de poluentes no exterior (www.qualar.org)	543
Tabela IV.25 –	Concentração máxima de poluentes no exterior (www.qualar.org)	551
Tabela IV.26 –	Iluminância e FLD obtidos para a Sala 2.1 em condições de iluminação natural	561
Tabela IV.27 –	Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 2.1	562
Tabela IV.28 –	Valores de iluminâncias obtidos com iluminação natural e FLD para a Cozinha 2.1	562
Tabela IV.29 –	Iluminância e FLD obtidos para a Sala 3 em condições de iluminação natural	563
Tabela IV.30 –	Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 3	564
Tabela IV.31 –	Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 3	564
Tabela IV.32 –	Iluminância e FLD obtidos para a Sala 4 em condições de iluminação natural	565
Tabela IV.33 –	Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 4	566
Tabela IV.34 –	Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 4	566
Tabela IV.35 –	Iluminância e FLD obtidos para a Sala 5.1 em condições de iluminação natural	567
Tabela IV.36 –	Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 4	568
Tabela IV.37 –	Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 5.1	568
Tabela IV.38 –	Iluminância e FLD obtidos para a Sala 6.1 em condições de iluminação natural	569
Tabela IV.39 –	Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 6.1	570
Tabela IV.40 –	Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 6.1	571
Tabela IV.41 –	Iluminância e FLD obtidos para a Sala 7.1 em condições de iluminação natural	571
Tabela IV.42 –	Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 7.1	572
Tabela IV.43 –	Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 7.1	573
Tabela IV.44 –	Características geométricas dos elementos construtivos das células de teste	577

Tabela IV.45 -	Desempenho acústico das células de teste - $D_{2m, nT, w}$ (Caso 1 - sem a marquise e com a divisória aberta; Caso 2 - com a marquise e com a divisória aberta (A) e fechada (F); e Caso 3 - com a marquise a 0,1 m e a 1,0 m e com a divisória aberta (A) e fechada (F))	578
Tabela IV.46 -	Dados relativos ao recinto receptor - ParE1	581
Tabela IV.47 -	Dados relativos ao recinto receptor - ParE2	582
Tabela IV.48 -	Dados relativos ao recinto receptor - ParE3	584
Tabela IV.49 -	Dados relativos aos recintos receptores - ParE4	586
Tabela IV.50 -	Dados relativos às medições acústicas da ParE4.1 e da ParE4.2	587
Tabela IV.51 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Par1	588
Tabela IV.52 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Par2	590
Tabela IV.53 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Par3	591
Tabela IV.54 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Par4	592
Tabela IV.55 -	Dados relativos às medições acústicas da Par4.1 e da Par4.2	593
Tabela IV.56 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Par5	594
Tabela IV.57 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Par6	596
Tabela IV.58 -	Dados relativos às medições acústicas da Par6.1 e da Par6.2	597
Tabela IV.59 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav1	599
Tabela IV.60 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav2	602
Tabela IV.61 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav2.1 sem isolamento e Pav2.2, com isolamento	602
Tabela IV.62 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav3	605
Tabela IV.63 -	Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 3 - Pav3.i	606
Tabela IV.64 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav4	608
Tabela IV.65 -	Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 4 - Pav4.i	610
Tabela IV.66 -	Potencialidades dos pavimentos do tipo 4 - Pav4.i (verifica - V e não verifica - NV o RRAE)	611
Tabela IV.67 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav5	612
Tabela IV.68 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav6	614
Tabela IV.69 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav7	616
Tabela IV.70 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav8	619
Tabela IV.71 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav9	620
Tabela IV.72 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav10	622
Tabela IV.73 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav11	624
Tabela IV.74 -	Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 11 - Pav11.i	625

Tabela IV.75 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav12	626
Tabela IV.76 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav.13	629
Tabela IV.77 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav13.1 e Pav13.2	630
Tabela IV.78 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav14	632
Tabela IV.79 -	Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav15	634

Capítulo 1 - Enquadramento e Objectivos

1.1. Introdução

Os edifícios devem ser projectados e construídos para darem resposta positiva às exigências associadas ao meio onde se inserem e às actividades desenvolvidas no seu interior. Até algumas décadas atrás, a principal exigência dos edifícios era que este desse ao homem condições apropriadas para que o mesmo desenvolvesse as suas actividades, fossem elas produtivas ou de lazer.

Com o passar do tempo, com a evolução do conhecimento do homem sobre o ambiente interior e exterior ao edifício, com o aumento da complexidade das construções, com o aumento das exigências dos ocupantes e do desenvolvimento técnico, outras exigências foram progressivamente sendo adicionadas aos requisitos básicos já conhecidos (segurança do edifício e impermeabilidade e/ou estanqueidade às chuvas, ventos e neve, por exemplo), sendo a questão do conforto - seja ele higrotérmico, visual ou lumínico, olfactivo ou acústico cada vez mais, valorizada, pois é necessário garantir a saúde, o bem-estar e as condições de conforto dos ocupantes.

Novos produtos foram desenvolvidos, novas técnicas de construção foram incorporadas, sempre com o objectivo de garantir ao homem locais adequados para suas actividades com o menor custo possível.

A evolução dos edifícios impôs também um novo desafio, o da economia de energia. Esta necessidade ficou patente após a crise petrolífera da década de mil novecentos e setenta e também com a subida dos preços dos produtos petrolíferos na primeira década do século XXI.

As crises energéticas levaram a uma maior tomada de consciência em relação ao desperdício de energia e a necessidade de redução dos consumos energéticos veio criar novos problemas aos edifícios, o que conduziu à necessidade de encontrar soluções que permitissem conceber edifícios com menores consumos energéticos.

Então, para diminuir as perdas energéticas dos edifícios o nível de isolamento térmico e a estanqueidade da envolvente foi melhorado, sendo as taxas de ventilação reduzidas. Esta tendência de redução dos consumos energéticos reduzindo as trocas por ventilação teve consequências negativas para o conforto térmico (aumento da humidade relativa) e para a qualidade do ar (humidade relativa e elevadas concentrações de poluentes provenientes dos materiais de construção e das próprias actividades humanas), causando mau estar e doenças aos ocupantes.

Além dos edifícios se tornarem cada vez mais estanques, o seu grau de dependência de sistemas mecânicos (de ventilação e de ar condicionado, entre outros) também aumentou, sendo os sistemas cada vez mais sofisticados. A operação destes sistemas, de modo a reduzir os consumos de energia, era baseada unicamente em requisitos de carga térmica nos espaços ocupados, sendo a temperatura ambiente e a humidade relativa os critérios utilizados. Outros parâmetros relativos à qualidade do ar no interior dos edifícios foram ignorados.

Se, por um lado, houve uma preocupação crescente com a economia de energia, por outro, a qualidade do ar interior foi descurada.

No interior dos edifícios são produzidos e libertados diversos poluentes (monóxido de carbono, dióxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, formaldeído) por materiais de construção baseados em solventes orgânicos, por materiais de limpeza, mofo, bolor, metabolismo humano e também pelas próprias actividades humanas, como cozinhar ou lavar e secar roupas. Tais poluentes comprometem a saúde e o rendimento dos ocupantes.

O problema da qualidade do ar interior tem aumentado de relevância, mas este problema é difícil de avaliar, uma vez que muitos componentes químicos estão envolvidos e alguns deles não são perceptíveis como, por exemplo, o radão (Raw, 1997).

A relação causa - efeito entre os problemas de qualidade do ar interior e os problemas de saúde dos ocupantes, já referida, e o aparecimento de legislação que abrange a qualidade do ar interior fazem com este assunto esteja cada vez mais na ordem do dia e com que o estudo desta problemática adquira cada vez mais importância.

Tendo em conta a conjugação de todos estes factores, justifica-se cada vez mais a importância de avaliar a qualidade do ar no interior de edifícios, bem como de relacionar a mesma com as fontes de poluentes, tornando possível implementar medidas que mitiguem o problema.

A qualidade do ar no interior dos edifícios degradou-se e estima-se que grande parte das pessoas, principalmente em ambientes urbanos, passa entre 80 e 90% do seu tempo no interior de edifícios, o que significa que, na maior parte do tempo, o Homem está sujeito a um ambiente artificial que é modificado pelo espaço fechado do edifício (Parker, 1993). Verifica-se que este problema não é só de conforto e de bem-estar é um problema de saúde e também económico, pois a produtividade diminui o absentismo aumenta bem como as despesas com a saúde.

Assim, a qualidade do ar desempenha um papel importante no bem-estar e conforto dos ocupantes dos edifícios. Contudo, as condições de conforto também devem ser levadas em consideração, já que calor ou frio excessivo, correntes de ar, humidade relativa inadequada, vibrações, ruídos e luminosidade interagem entre si e colaboram para o aumento das queixas dos ocupantes. É então necessário considerar não apenas a qualidade do ar interior, mas a qualidade do ambiente interior.

A qualidade do ambiente interior é o conjunto de características do ambiente no interior de um dado edifício que influenciam a saúde e conforto dos seus ocupantes. Existe uma vasta gama de parâmetros que podem contribuir para a eficácia do mesmo, tais como a ergonomia e a estética dos espaços, mas os mais importantes são o conforto térmico, o conforto lumínico, o conforto acústico e a qualidade do ar interior.

O aumento das fontes sonoras, do ruído no exterior e interior dos edifícios (devido à ocupação e aos equipamentos, tais como elevadores e frigoríficos, por exemplo, mas também de televisões e equipamentos de alta-fidelidade), transformou os edifícios em locais ruidosos, sendo por isso necessário criar condições de conforto de acordo com as actividades desenvolvidas no seu interior e também ao repouso. As soluções arquitectónicas actuais têm tendência para a existência de grandes vãos envidraçados e diminuir a massa dos elementos construtivos, o que reduz o isolamento conferido pelos mesmos e aumenta o nível de exigência a que o projectista deve dar resposta.

A área e as características dos envidraçados têm também influência no conforto térmico e no ambiente lumínico no interior dos edifícios, se as áreas forem reduzidas os níveis de iluminação são insuficientes, áreas elevadas podem conduzir a problemas de encadeamento. Em ambas as situações as condições não são adequadas e podem levar ao aparecimento de problemas de saúde, tais como cefaleias.

A implementação da Directiva Europeia relativa à eficiência energética dos edifícios, EPBD (do inglês Energy Performance of Buildings Directive) associada à necessidade de minimizar a dependência energética externa levou à tomada de medidas visando a redução dos consumos energéticos nos edifícios e a assegurar as condições de conforto térmico e a qualidade do ar interior.

Surgiram assim a nível nacional e internacional um conjunto de normas e regulamentos que visam a Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios, de modo a assegurar as condições de conforto e de qualidade do ar no seu interior.

Em Portugal, a entrada em vigor da Certificação Energética de Edifícios, Decretos-Lei n.º 78, 79 e 80 de 2006, visando a eficiência energética dos edifícios, tornou a análise da qualidade do ar interior obrigatória em edifícios de serviços. É, no entanto também necessário analisar a qualidade do ar interior nos edifícios de habitação.

Torna-se então necessário assegurar as condições de saúde e bem-estar (conforto), garantindo a qualidade do ambiente interior e a sustentabilidade das Construções.

A qualidade do ambiente interior pode tornar-se um bom trunfo para a competitividade na construção, trazendo vantagens para todos os intervenientes. Para tal, há que criar uma estratégia que englobe todos os interessados de forma a haver uma eficiente consciencialização da sua importância para a qualidade de vida e saúde das pessoas e que sejam efectivamente implementadas medidas com vista à obtenção de ambientes interiores dos edifícios com qualidade.

Assim o trabalho desenvolvido visa contribuir para melhorar a qualidade do ambiente interior dos edifícios e a sua sustentabilidade através da análise, em fase de projecto dos parâmetros que afectam a qualidade do ambiente interior (conforto térmico, qualidade acústica e lumínica associada à iluminação natural e qualidade do ar interior) e os consumos energéticos dos edifícios.

Os edifícios seleccionados foram os edifícios de habitação, pois grande parte do tempo que as pessoas passam nos edifícios é-o no seu interior e não estão sujeitos a auditorias de verificação da qualidade do ar interior.

1.2. Objectivos

Diante do acima referido, estabeleceu-se como objectivo deste trabalho apresentar um método de auxílio à concepção de edifícios utilizando as condições naturais, visando a obtenção de um ambiente confortável em termos térmicos, acústicos e lumínicos, com boa qualidade de ar e com reduzidos consumos energéticos. Ou, mais especificamente, considerando alguns critérios como: o conforto térmico; o conforto acústico; o conforto lumínico ou visual; a qualidade do ar interior e os consumos energéticos.

Considerando os principais parâmetros que afectam a qualidade do ambiente interior e os factores que intervêm para assegurar cada um deles, bem como os consumos energéticos associados à sustentabilidade do edifício pretende-se projectar edifícios eficientes, tomando decisões que visam atingir a qualidade dos edifícios.

Articulam-se os conceitos de Arquitectura, da Engenharia e da Pesquisa Operacional, esta última associada à resolução de problemas de decisão, muito pouco utilizada no contexto do projecto de edifícios, desde o projecto de arquitectura até à selecção de materiais e sistemas.

Com este trabalho pretende-se realizar o estudo integrado da forma, orientação, dos materiais utilizados, de diversas soluções construtivas quer convencionais quer novas soluções, avaliando o seu desempenho e a sua contribuição para a obtenção do conforto global e, ao mesmo tempo, reduzir os consumos energéticos e garantir a sustentabilidade das construções.

Em geral as soluções adoptadas nos edifícios convencionais, em geral, optimizam apenas um dos requisitos necessários ao conforto. Em muitos casos, as melhores soluções para garantir os diversos requisitos de conforto não são compatíveis, em especial no que diz respeito às estratégias de iluminação e ventilação e o desempenho térmico e acústico. Por exemplo, o tipo de envidraçado utilizado pode ter uma elevada e oposta influência no desempenho térmico e acústico do edifício.

Deste modo, é necessário realizar um estudo integrado para garantir o melhor desempenho global, tendo em consideração os, por vezes incompatíveis, requisitos de conforto e sustentabilidade.

O objectivo do estudo é seleccionar um conjunto de soluções optimizadas (forma, orientação, soluções construtivas e materiais utilizados na envolvente, estratégias de fenestração, ventilação e sombreamento, etc.) através de uma análise multi-critério, de modo a melhorar o desempenho global dos edifícios, garantindo todas as exigências de conforto, qualidade do ambiente interior, controlando os consumos energéticos e assegurando ao mesmo tempo a sustentabilidade das construções.

O estudo consiste na optimização das condições globais de conforto através da análise e controlo de quatro parâmetros relacionados com o nível de isolamento térmico, o nível de isolamento acústico, os níveis de iluminância e do Factor de Luz do Dia (tendo em consideração as exigências de iluminação natural no interior) e o número de renovações de ar por hora e a percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior, considerando os factores que têm influência no desempenho dos edifícios.

O estudo compreende três partes: a avaliação das potencialidades das diversas soluções construtivas e sua contribuição para a obtenção do conforto em todas as suas vertentes no interior dos edifícios; a comparação do comportamento das diversas soluções; a avaliação da sustentabilidade das diversas soluções, associada aos consumos energéticos dos edifícios.

O estudo irá incidir sobre a influência de vários tipos de paredes, coberturas e pavimentos, com diversos níveis de isolamento e diferentes localizações do mesmo, bem como dos diferentes tipos de envidraçados e dos respectivos dispositivos de sombreamento.

A avaliação das condições de conforto térmico e acústico e das condições de iluminação e ventilação natural será levada a cabo tanto em edifícios pertencentes ao ambiente construído como em células de teste, efectuando-se medições e cálculo dos parâmetros relevantes para este estudo.

Esta análise é também relevante pois cada vez mais os edifícios são projectados sem considerar a sua relação com o clima e o local de implantação, sendo previstos, por exemplo, grandes vãos envidraçados, que são penalizadores para o comportamento do edifício, quer a nível térmico, acústico e também lumínico, devido ao excesso de iluminação e ao encadeamento.

Por outro lado o projectista não conhece de que forma uma opção tomada num determinado sentido irá afectar os restantes parâmetros da qualidade do ambiente interior e como decidir, de forma informada que opção tomar quando a opção em causa for boa para um parâmetro e má para outro.

Determinado o comportamento térmico, acústico lumínico e a qualidade do ambiente interior, bem como os consumos energéticos anuais associados ao edifício é, então possível, efectuar uma análise multi-critério e assim verificar quais as soluções construtivas mais adequadas a cada caso.

Deste modo, pretende-se aumentar o conhecimento das capacidades e potencialidades das diversas soluções construtivas de forma a racionalizar a sua utilização, contribuindo, para a melhoria das condições de conforto nas habitações através da implementação de uma construção sustentável.

1.3. Estrutura do Trabalho Realizado

No **Capítulo 1** é realizado o enquadramento do trabalho e são apresentados os objectivos.

No **Capítulo 2** apresenta-se a análise da Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios e da sua sustentabilidade. É apresentado o enquadramento da situação actual da indústria da construção face às novas exigências a ela associadas.

São apresentados os principais factores que afectam a Qualidade do Ambiente interior, ou seja as condições de conforto térmico, acústico, lumínico e a qualidade do ar interior, e o enquadramento normativo e regulamentar.

É também analisada a importância da sustentabilidade dos edifícios.

No **Capítulo 3** são descritos os edifícios que foram estudados no decurso deste trabalho e os programas utilizados para prever o desempenho dos edifícios, visando caracterizar as condições de qualidade do ambiente interior do parque habitacional português e prever o comportamento dos edifícios em fase de projecto através de simulação computacional.

No **Capítulo 4** são apresentados os resultados das simulações realizadas, no que respeita a previsão dos consumos energéticos dos edifícios e das condições de conforto térmico no seu interior, sendo necessário para tal considerar as condições térmicas e de ventilação. Foi também simulado o desempenho lumínico dos edifícios e previsto o número de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior.

A previsão do isolamento acústico dos elementos da envolvente (paredes exteriores, paredes e lajes de separação entre habitações e entre habitações e zonas de circulação) é também apresentada.

Esta previsão foi realizada tendo em consideração diversas áreas de envidraçados e para diferentes soluções construtivas, de modo a avaliar o seu efeito no comportamento global dos edifícios, verificar se cumprem os requisitos e recomendações definidos na regulamentação nacional e internacional aplicável a cada uma e também identificar as melhores soluções.

No **Capítulo 5** são apresentados os resultados dos ensaios realizados in situ em edifícios portugueses.

Foram realizadas medições para caracterizar as condições de conforto térmico, através da medição da temperatura ambiente, da temperatura do bolbo negro, da humidade relativa e da velocidade do ar e considerando a actividade metabólica e a resistência térmica dos ocupantes.

Foi também caracterizado o conforto acústico, tendo sido medido o nível sonoro no interior das diversas habitações estudadas. Foram ainda avaliadas as condições de iluminação natural, tendo sido medido o nível de iluminância e o Factor de Luz do Dia.

Foram ainda medidas as concentrações de poluentes (dióxido e monóxido de carbono, ozono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis, partículas respiráveis e radão.

Foi também avaliada a percepção dos ocupantes das habitações no que concerne a importância relativa de cada um destes parâmetros para a qualidade do ambiente interior.

São ainda apresentados os resultados dos ensaios de avaliação do isolamento acústico a sons de condução aérea e de percussão, de elementos da envolvente interior e exterior, com diferentes soluções construtivas.

A identificação da viabilidade e das potencialidades da utilização de um método de análise multicritério e da sua selecção, para auxílio à ordenação e escolha de soluções de projecto visando otimizar a qualidade do ambiente interior e a sustentabilidade dos edifícios é apresentada no **Capítulo 6**. É também apresentado neste capítulo um exemplo de aplicação do método de análise multicritério seleccionado para a selecção de soluções de projecto mais adequadas, tendo por base as simulações realizadas.

Por último no **Capítulo 7** são apresentadas as conclusões do trabalho realizado, as suas limitações e as perspectivas e sugestões para a continuação dos estudos realizados neste trabalho.

No **Anexo I** são descritos os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios in situ efectuados no decurso deste trabalho visando caracterizar as condições de qualidade do ambiente interior do parque habitacional português.

No **Anexo II** descreve-se de forma breve a metodologia para a realização de ensaios de avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão. São também apresentados neste Anexo os critérios para o desempenho acústico dos edifícios.

No **Anexo III** apresentam-se os resultados da simulação energética e da qualidade do ambiente interior dos edifícios. Neste Anexo são apresentados os resultados da simulação energética de edifícios de geometria simples, das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais e dos Edifícios Tipo com diferentes soluções construtivas, sendo apresentados os resultados relativos às condições higrotérmicas e aos consumos energéticos.

Os resultados da simulação do comportamento acústico de diferentes soluções construtivas para paredes exteriores, interiores e pavimentos são também apresentados no Anexo III.

Os resultados obtidos do estudo do comportamento lumínico de diferentes edifícios são também apresentados no Anexo III.

No **Anexo IV** apresentam-se os resultados dos ensaios efectuados em diversos edifícios (Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais e de alguns edifícios do parque habitacional português. São ainda apresentados os critérios e as metodologias seguidas para a realização dos ensaios efectuados. Os ensaios efectuados foram os relativos à avaliação da qualidade do ambiente interior dos edifícios, tendo sido realizados ensaios para avaliar o comportamento higrotérmico dos edifícios, sendo posteriormente determinada a situação de conforto térmico.

Neste Anexo são também apresentados os resultados da avaliação da concentração de poluentes para avaliar a qualidade do ambiente interior e da avaliação das condições de iluminação natural, através da medição dos níveis de iluminância interior e exterior e da determinação do Factor de Luz do Dia. São ainda apresentados neste Anexo os resultados relativos à avaliação do nível sonoro no interior das habitações e do isolamento acústico dos elementos construtivos ensaiados.

No **Anexo V** apresenta-se o inquérito realizado aos ocupantes das habitações estudadas na avaliação in situ.

Capítulo 2 - A sustentabilidade e o Conforto das Construções

Neste Capítulo apresenta-se a análise da Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios e da sua sustentabilidade. É apresentado o enquadramento da situação actual da indústria da construção face às novas exigências a ela associadas.

São apresentados os principais factores que afectam a Qualidade do Ambiente interior, ou seja as condições de conforto térmico, acústico, lumínico e a qualidade do ar interior, e o enquadramento normativo e regulamentar.

É também analisada a importância da sustentabilidade dos edifícios.

2.1 Os Edifícios

As habitações visam criar condições ambientais seguras e confortáveis, independentemente das condições exteriores. A sua forma e configuração são o resultado de um processo complexo, em que devem ser considerados factores funcionais, técnicos e estéticos. A exposição aos ventos, o acesso solar, a protecção conferida pela envolvente, a qualidade do ar e o nível sonoro do local de implantação vão afectar a relação entre o edifício e o ambiente que o envolve, influenciando a forma do edifício.

Os edifícios fornecem abrigo, mas na sua construção consomem uma parcela relevante de recursos materiais e energéticos e geram quantidades consideráveis de resíduos.

A escolha de materiais de construção é um factor de grande importância para o projecto de um edifício sustentável, devido à extensa cadeia de impactes que envolve, iniciada com a extracção, seguida do processamento, transporte e entrega dos materiais no estaleiro.

Os impactes ambientais de um edifício podem ser analisados de diversas formas:

- pela ocupação do espaço natural, interferindo nos ecossistemas locais;
- pela obtenção, transformação e aplicação das matérias-primas e da energia que consome (na sua maior parte proveniente de fontes não renováveis; e
- ao gerar, directa e indirectamente grandes quantidades de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) associados à sua construção, operação e demolição.

Mas os impactes não terminam com a inclusão dos materiais no edifício. Ao longo da vida útil dos edifícios, os seus consumos energéticos, que estão associados à qualidade dos materiais seleccionados consomem também recursos naturais, como por exemplo os produtos petrolíferos (60% da electricidade produzida em Portugal tem origem fóssil) e libertam dióxido de carbono para a atmosfera, contribuindo para o efeito de estufa. Existem também impactes associados às exigências de manutenção e posteriormente de demolição.

Não existem dados relativos a Portugal, mas nos Estados Unidos da América os edifícios representam 39% do consumo de energia, 68% do consumo total de electricidade e por 38% de emissão de CO₂, tal como mostra a Figura 2.1 (US.EPA, 2004).

Assim, neste trabalho a sustentabilidade dos edifícios foi analisada sob a perspectiva dos consumos energéticos ao longo da vida útil dos edifícios.

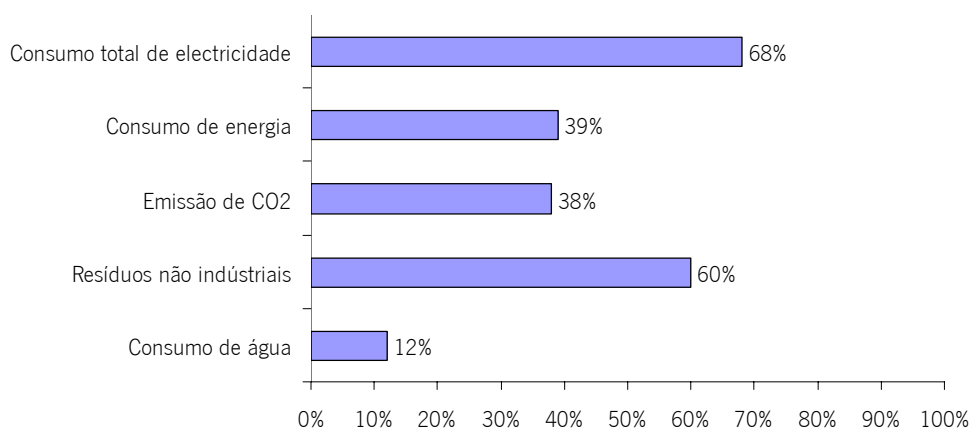


Figura 2.1 – Impacte ambiental anual dos edifícios nos Estados Unidos da América (US EPA, 2004)

Do mesmo modo que os edifícios têm impacte no meio ambiente, têm também impacte na saúde, física e mental, e no bem-estar dos ocupantes. Estes impactes dependem do projecto do edifício, dos materiais de construção utilizados e do tipo de actividades que se desenvolvem no seu interior, bem como no número e tipo de ocupantes. Então, ao mesmo tempo que protegem o homem dos agentes da natureza ameaçam também a sua saúde e degradam o meio natural.

As técnicas de construção de edifícios evoluíram com o objectivo de melhorar o conforto dos seus ocupantes, no entanto, devido à ventilação insuficiente e aos poluentes libertados por alguns materiais utilizados na sua construção, no que respeita à qualidade do ar interior, os edifícios não garantem as condições de saúde, bem-estar e conforto.

Espaços fechados, mal ventilados e iluminados e sem vistas para o exterior criam condições de stress e reduzem a produtividade dos seus ocupantes, além de poderem criar situações de risco para a saúde (Ulrich et. al, 2004; Boehland, 2005).

A libertação de substâncias químicas pelos materiais do edifício, equipamentos e mobiliário é outro factor que influencia a degradação da qualidade dos ambientes interiores. Pelas suas múltiplas características de forma e composição os materiais e produtos podem libertar compostos químicos e/ou facilitar o desenvolvimento de microrganismos tais como bolores, fungos e bactérias patogénicas. Carpetes, por exemplo, emitem compostos orgânicos voláteis (COV), o mobiliário de compostos lamelados podem emitir formaldeído, os produtos de PVC utilizados como revestimento de mobiliário, pavimento, tecto e paredes podem libertar uma variedade de compostos tais como metais pesados e ftalatos. As tintas, os produtos de limpeza, as ceras, óleo de cedro entre outros, emitem produtos alergénicos. Impressoras e fotocopiadoras emitem hidrocarbonetos aromáticos provenientes dos toners e também do próprio papel e produzem ozono (Godish, 2001).

A nível mundial tem-se verificado um aumento da incidência de casos de asma e alergias, especialmente em crianças e jovens, sendo os poluentes no interior dos edifícios indicados como uma das principais causas deste aumento de doenças alérgicas (Sundell, 2004).

É assim importante considerar a selecção dos materiais, mas também a ventilação e a qualidade do ar interior de modo a assegurar as condições de saúde e bem-estar, ou seja o conforto dos ocupantes. A qualidade do ar interior tem um impacte significativo na saúde, conforto e produtividade dos ocupantes.

Um estudo realizado em Junho de 2004 (publicado na revista ProTeste n.º 251), em 34 habitações com menos de 5 anos, de Lisboa e Porto, evidenciou a existência de problemas de humidade, deficiente ventilação, fissuração, problemas de acessibilidades, etc.. Este estudo foi realizado tendo por base as mais de 2500 reclamações sobre problemas com habitações que em 2004 chegaram à Associação de Defesa do Consumidor, DECO.

Das 34 habitações analisadas, 23 apresentavam problemas vários devido a humidades, falta de ventilação, falta de dispositivos de sombreamento, ou com dispositivos sem possibilidade de regulação, infiltrações devido à falta de estanquidade da caixilharia, entre outros, tal como mostra a Figura 2.2 (ProTeste 251, 2005).

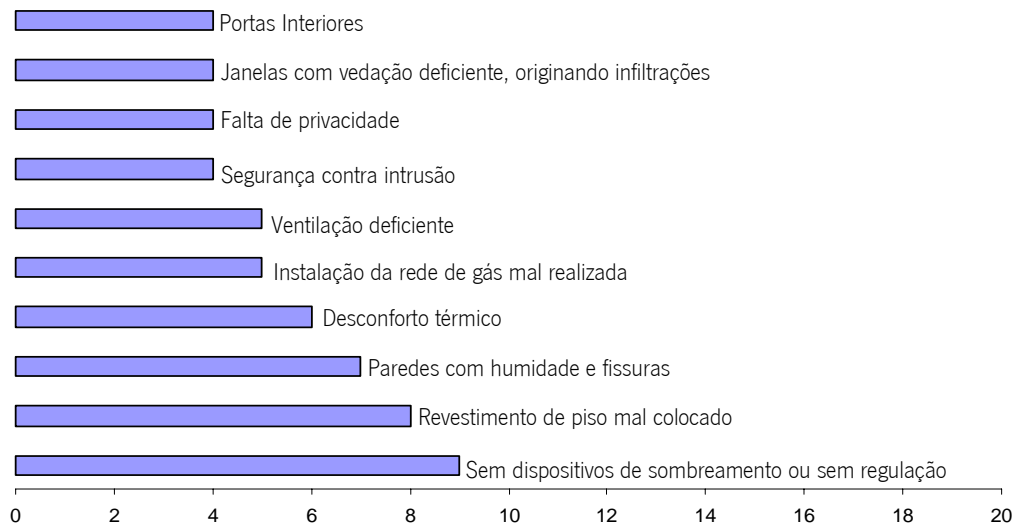


Figura 2.2 - Principais problemas detectados nas habitações analisadas pela DECO

Em 25 edifícios foram detectados problemas relacionados com a falta de acessibilidade, sem meios de combate a incêndio, materiais utilizados/aplicados de forma inadequada, o que conduz à sua degradação precoce. Além destes factores, na vizinhança faltam espaços verdes ou de lazer, não existe uma rede de transportes públicos organizada e, em geral, existem problemas relacionados com o nível sonoro elevado.

Num outro estudo realizado pela DECO, publicado na revista Proteste n.º 252, em 27 habitações de Lisboa e Porto, com menos de 5 anos, verificou que mais de metade das habitações estudadas (14) não tinham isolamento suficiente (ProTeste 252, 2005).

Os elementos estudados foram as lajes de separação entre duas habitações e a parede exterior. Das lajes estudadas, 9 não cumpriam o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), no que respeita ao isolamento sonoro a sons de condução aérea e 13 não respeitam os requisitos relativos aos sons de percussão (das 7 habitações estudadas no Porto apenas 3 cumpriam o RRAE) (ProTeste 252, 2005).

Num quarto das habitações o Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aéreas, Normalizado, $D_{n,w}$, era superior a 54 dB (o valor mínimo regulamentar para elementos de separação entre duas habitações é de 50 dB) (ProTeste 252, 2005). Em relação ao Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão, $L'_{n,w}$, foram registados valores de 86 dB e 83 dB, muito superiores aos 60dB estipulados no RRAE, para elementos de separação entre duas habitações (ProTeste 252, 2005).

Em relação ao Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aéreas, Normalizado entre o exterior e quartos ou zonas de estar de uma habitação, $D_{2m,n,w}$, 16 das paredes estudadas apresentavam valores superiores a 33 dB e 7 apresentavam valores entre 28 dB e 33 dB (valores mínimos para $D_{2m,n,w}$ em zonas sensíveis e zonas mistas, respectivamente) e 4 habitações não cumpriam o RRAE (ProTeste 252, 2005).

Noutro estudo realizado pela DECO, em 34 apartamentos com menos de 5 anos de Lisboa e Porto, em Junho de 2004 verificou que 2 habitações não cumpriam o Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) de Verão, o mesmo acontecendo para o Inverno em 2

habitações e que a grande maioria, apesar de respeitar a regulamentação, não foram construídas numa perspectiva da poupança de energia, o que conduzia a situações, por exemplo em que seria possível poupar 25% de energia para arrefecimento, na habitação com maiores necessidades de arrefecimento, se existisse outro tipo de envidraçados, com vidro reflector ou com um sistema de sombreamento eficaz. Na pior situação de aquecimento era possível poupar até 54€ de energia eléctrica durante o Inverno se existisse um bom isolamento na cobertura (ProTeste 254, 2006).

Das 34 habitações estudadas 5 possuíam vidros simples, 3 possuíam janelas mal isoladas (janelas de correr com folgas e problemas na caixa de estores) e 3 tinham problemas de sombreamento, num dos edifícios os envidraçados da sala e da cozinha não possuíam dispositivos de sombreamento (toldos, estores, persianas ou portadas), noutras situações não era possível encerrar completamente estes elementos (ProTeste 254, 2006). Sendo a solução de sombreamento mais frequente as persianas normais de plástico, sem isolamento (ProTeste 254, 2006).

Foram também detectados problemas devido à falta de correcção das pontes térmicas, em especial na ligação entre as lajes e as paredes, falta de continuidade ou mesmo a possibilidade de não existir isolamento (ProTeste 254, 2006).

Ainda segundo a DECO, dos 21 projectos submetidos a licenciamento analisados pela Agência de Energia de Almada entre 2002 e 2003, apenas 8 cumpriam o RCCTE (ProTeste 254, 2006).

A DECO realizou também medições da concentração de radão, sendo os resultados publicados na Teste Saúde n.º 34, de Novembro de 2001. Este estudo identificava as zonas do país mais afectadas pelo radão, tendo efectuado um total de 259 medições (maior cobertura aos distritos de Viseu, Guarda e Braga), em 212 casas, durante a Primavera e o Verão de 2001 (ProTeste 34, 2001).

As medições foram feitas através de um detector, que os moradores colocaram na divisão mais frequentada da sua habitação, por um período não inferior a 30 dias. Quase dois terços das medições ficaram abaixo do nível de alerta recomendado pela União Europeia (200 Bq/m³). No entanto, 22% dos casos excederam esse nível e 17% estavam mesmo acima do limite máximo definido no RSECE (400 Bq/m³) (ProTeste 34, 2001). Numa cave situada na Guarda, os níveis situavam-se nos 1751 Bq/m³. A partir do segundo piso, o valor máximo encontrado foi de 223 Bq/m³ (ProTeste 34, 2001).

Num outro estudo realizado pela DECO, em 47 das 113, habitações avaliadas a concentração de radão era inferior a 200 Bq/m³ e em 39 a concentração era superior a 400 Bq/m³ (ProTeste online, 2009).

A DECO avaliou também a concentração de formaldeído em 38 habitações, das quais 33 apresentavam concentrações de formaldeído entre 0,01 a 0,1 mg/m³, quatro apresentavam concentrações superiores a 0,1 mg/m³, e numa a concentração detectada era inferior a 0,01 mg/m³, sendo as principais causas apontadas a existência de mobiliário novo e a falta de ventilação (ProTeste 64, 2007). O valor máximo regulamentar é de 0,1 mg/m³ (RSECE, 2006).

Verifica-se assim que as condições no interior das habitações não são conducentes à saúde e bem-estar dos seus ocupantes.

Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde, OPAS, uma habitação saudável deve promover a saúde e bem-estar dos ocupantes, sendo para isso necessário considerar, desde a fase de projecto, a influência dos factores que afectam o seu desempenho, ou seja a localização, orientação, materiais utilizados, ventilação e iluminação dos espaços, isolamento térmico e acústico, mas também a segurança, as comunicações e a vizinhança e também a educação sanitária dos habitantes, pois são eles os utilizadores dos espaços (OPAS, 2006).

De forma a otimizar o desempenho dos edifícios ao nível da sustentabilidade e da Qualidade do Ambiente Interior, IEQ¹ é necessário:

- otimizar as potencialidades do local e do clima através da selecção do local de implantação, a localização do edifício no mesmo e a orientação que devem ser integradas no projecto em conjugação com a consideração dos consumos energéticos e com a selecção de materiais;
- otimizar a utilização de energia, de modo a considerar a sua escassez e os impactes que produz para a sua produção;
- proteger e conserva a água, minimizando o consumo de água tratada e reutilizar e reciclar quando viável;
- utilizar produtos com menor impacte ambiental, de preferência recicláveis ou com potencialidades de reciclagem, tendo também em consideração os perigos de exposição dos trabalhadores aquando do seu manuseamento;
- garantir a qualidade do ar interior;
- assegurar as condições de iluminação natural dos espaços e de vistas para o exterior;
- dispor de condições de ventilação adequadas, de preferência ventilação natural;
- manter os sistemas de modo a evitar o desenvolvimento de fungos e bactérias;
- minimizar o ruído no interior, através da compartimentação e localização dos espaços dentro do edifício e do isolamento acústico dos elementos da envolvente;
- assegurar as condições de operação e de manutenção, através da selecção dos materiais e planear as mesmas em função destes;
- utilizar materiais com baixa emissão de COV, formaldeído e outros produtos tóxicos, duráveis, com potencial de reutilização e reciclagem.

O nível de estanquidade dos edifícios aumentou de forma significativa a partir da crise energética de 1973 (Grot e Clark, 1979; Grimsrud. et al, 1982; Parker, 1993; Sherman e Dickerhoff, 1998; Sherman e Matson, 1998).

Estudos realizados nos Estados Unidos da América, em 12,500 habitações unifamiliares, verificaram que apenas 15% dos edifícios respeitavam os requisitos definidos na ASHRAE 62, relativa aos níveis de ventilação aceitáveis para a qualidade do ar interiores em edifícios residenciais de altura reduzida (ASHRAE 62, 2007; Sherman e Dickerhoff, 1998; Sherman e Matson, 1998).

Em França, entre 1973 e 1989, foi conseguida uma economia de 42% de energia no sector de habitação, através de legislação visando o uso racional de energia nos edifícios (Meiriño, 2004).

A infiltração deve ser estimada de forma cuidadosa devido ao seu impacte nas cargas térmicas das habitações, podendo contribuir entre um quarto e metade das cargas térmicas de aquecimento (Huang. et al, 1999; Sherman e Dickerhoff, 1998).

Assim, o aumento da estanquidade dos edifícios pode ser vantajoso, devido à redução dos consumos energéticos, mas leva a que a taxa de ventilação dos edifícios actuais seja cerca e 10 vezes menor do que era há trinta anos, tendo passado de um valor médio de a 2 a 3 renovações completas do ar de um edifício por hora para uma renovação em cada 4 a 5 horas (US.EPA, 2004).

¹ Acrónimo da designação em inglês: “indoor environmental quality”

A tendência de redução dos consumos energéticos reduzindo as trocas por ventilação teve então consequências negativas para o conforto térmico (aumento da humidade relativa) e para a qualidade do ar (humidade relativa e elevadas concentrações de poluentes), causando mal-estar e doenças aos ocupantes (Hanssen, 2002).

Surgiu assim o conceito qualidade do ambiente interior, definido como o conjunto de características do ambiente no interior de um dado edifício que influenciam a saúde e conforto dos seus ocupantes. Existe uma vasta gama de parâmetros que podem contribuir para a eficácia do mesmo, sendo os mais importantes: o conforto térmico; o conforto lumínico; o conforto acústico; e a qualidade do ar interior. Existem ainda outros factores, como é o caso da ergonomia e da estética de espaços.

Para otimizar o desempenho dos edifícios as exigências de aquecimento e arrefecimento, iluminação, qualidade do ar e de isolamento acústico devem ser consideradas pelos Arquitectos e Engenheiros logo na fase inicial do projecto de modo a serem asseguradas as condições de conforto nos edifícios.

Para que isto seja conseguido é necessário prever o comportamento higrotérmico, acústico, as suas condições de iluminação e potencialidades de ventilação natural e a qualidade do ar interior dos edifícios, na fase de projecto, de modo a ser possível tomar as opções mais correctas em relação à geometria, organização dos espaços, fenestração, escolha das soluções construtivas e selecção de materiais, de forma a reduzir os custos energéticos, garantir a sustentabilidade das construções e, ao mesmo tempo, melhorar as condições globais de conforto dos ocupantes (higrotérmico, acústico, lumínico, e a QAI) e não apenas o conforto térmico e os custos energéticos, que em geral são os alvos de atenção.

Esta tarefa é dificultada pela falta de integração entre os diferentes intervenientes no projecto do edifício, falta de informação dos custos no ciclo de vida do edifício, dificuldade de integrar os diferentes factores que afectam a qualidade do ambiente interior dos edifícios, além da falta de informação técnica necessária a uma análise detalhada, a falta de incentivos e o facto de ser quem utiliza os edifícios e não quem o projecta e o constrói que é afectado pela falta das condições de conforto no edifício.

Os edifícios sustentáveis apresentam um custo inicial cerca de 15% superior aos dos edifícios comuns, mas como, ao longo de 40 anos de vida útil de um edifício de escritórios, 50% do custo do edifício diz respeito à sua operação, sendo os custos de construção de 11%, assim é possível uma economia de 10% a 20% no custo de operação de um edifício se este for sustentável (US.EPA, 2004). Se ainda forem considerados os ganhos de saúde, bem-estar e produtividade de um edifício projectado de forma adequada, os ganhos são ainda maiores (US.EPA, 2004).

Para assegurar a qualidade dos edifícios (conforto e sustentabilidade), na fase de projecto, é necessário considerar um conjunto de objectivos:

- Maximizar o conforto humano em termos de:
 - Boas condições de iluminação natural e de paisagem;
 - Ventilação adequada e qualidade do ar interior;
 - Isolamento acústico e adequado ambiente acústico;
 - Bom nível de isolamento térmico;
 - Controlo do ambiente térmico e da humidade relativa;
 - Segurança e protecção;
- Maximizar o espaço útil:
 - Minimizando a área necessária aos equipamentos;
 - Minimizar a necessidade de espaços para a distribuição de ar;
 - Maximizar a integração de estrutura e sistemas;

- Minimizar a utilização de tectos falsos;
- Planeamento Urbano eficiente:
 - Boa circulação de peões;
 - Segurança
 - Adaptabilidade e flexibilidade;
 - Dar resposta às necessidades dos ocupantes;
 - Minimizar os gastos de capital:
 - Reduzir o tamanho de sistemas de climatização e equipamentos;
 - Reduzir a complexidade dos sistemas;
 - Coordenar o projecto de estruturas e o projecto de climatização
- Projectar para a mudança:
 - Projecto simples e modular para fazer face à expansão exponencial;
 - Projectar sistemas de climatização tendo em vista a necessidade de adaptação;
 - Possibilitar a mudança de traçados para permitir alterações nas funções e na disposição da compartimentação;
- Minimizar os custos de manutenção:
 - Utilizando materiais duráveis;
 - Seleccionando equipamento com uma elevado período de utilização;
 - Escolhendo sistemas de climatização fiáveis de utilização simples;
 - Assegurar bons acessos aos equipamentos para manutenção;
- Minimizar os custos de manutenção e os consumos energéticos:
 - Maximizar o uso de energias renováveis ou gratuitas (iluminação natural, ganhos solares, ventilação natural e ventilação nocturna);
 - Usar um nível de isolamento térmico elevado;
 - Utilizar sistemas fiáveis e adequados;
 - Sistemas e equipamentos do edifício devem se eficientes;
- Proteger e aumentar o valor ecológico do edifício:
 - Integração no local de implantação, considerando a fauna e a flora;
 - Criar espaços verdes;
 - Recolha e reciclagem de água das chuvas (usadas em autoclismos e para rega de jardins);
 - Reciclagem e tratamento dos resíduos eficaz.

Neste trabalho são consideradas as formas de maximizar o conforto humano e de aumentar a sustentabilidade dos edifícios, reduzindo os seus consumos energéticos.

O objectivo deste trabalho é o de desenvolver um conjunto de regras e definir um conjunto de estratégias que devem ser seguidas por Projectistas (Engenheiros e Arquitectos), construtores e outros elementos intervenientes no mercado da construção de modo a conseguir um balanço adequado entre os consumos energéticos nos edifícios e a qualidade do ambiente interior, de forma a reduzir o risco de má qualidade do ambiente interior e de desperdício de energia nos edifícios, ou por outras palavras, como conjugar uma boa qualidade do ambiente interior com o uso racional e eficiente de energia nos edifícios através da realização de uma análise multicritério.

2.2 O Conforto e a Sustentabilidade

O estudo dos edifícios passa cada vez mais pelo estudo das formas de obtenção de conforto no seu interior, de forma natural, ou seja de modo a garantir a sua sustentabilidade, pois grande parte das pessoas passam 90% do tempo no interior dos edifícios e estes são responsáveis por 40% dos consumos energéticos na União Europeia e por 30% dos consumos energéticos em Portugal (Ruck, 2005; Gonçalves, 2005; Directiva 2002/91/CE).

Assim em primeiro lugar é necessário saber em que consiste o conforto e a sustentabilidade das construções.

O conforto é um parâmetro muito complexo de avaliar devido a diversos factores (formas, cores, luz, temperatura), mas também às diversas sensibilidades e tipos de reacções dos indivíduos.

Como é evidente, existem vários tipos de conforto (térmico, acústico, visual, qualidade do ar interior, etc.), e também um conjunto de factores que conduzem a situações de conforto, relacionadas ou não entre si (por exemplo a área de envidraçados influencia tanto o conforto térmico, acústico e visual e também a qualidade do ar, por outro lado a cor das superfícies é importante para a qualidade visual de um espaço, mas não interfere na sua qualidade acústica ou para a qualidade do ar.

A inércia térmica (massa) contribui também para o bom comportamento acústico, no entanto os elementos resilientes, necessários em lajes para que estas tenham um bom isolamento a sons de percussão, na maior parte dos casos, não contribuem para o comportamento térmico dos edifícios.

A correcta ventilação dos edifícios é essencial para a existência de conforto higrotérmico e para a qualidade do ar no interior dos edifícios (Viegas, 1995).

Por um lado a ventilação pode ser utilizada, de Verão, para reduzir a temperatura no interior dos edifícios, diminuindo os consumos energéticos, por outro lado, de Inverno, pode aumentar os consumos energéticos, uma vez que a entrada de ar novo, do exterior, mais frio, irá reduzir a temperatura ambiente.

No entanto a ventilação é essencial para reduzir o risco de ocorrência de condensações e conseqüente aparecimento de fungos e bolores e permite a manutenção da qualidade do ar interior, reduzindo a concentração de vapor de água, de dióxido e monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis (provenientes dos materiais, madeiras e plásticos, de tintas e vernizes, etc.), esporos e outros elementos que podem levar à degradação do ambiente e dos materiais de construção e provocar doenças aos habitantes, contribuindo para as exigências relativas à qualidade do ar interior.

A qualidade do ar interior em edifícios urbanos é muito afectada pela concentração de poluentes no ambiente interior, sendo as fontes de agentes poluentes as actividades humanas, os poluentes exteriores e a presença de produtos e materiais que emitem uma grande variedade de compostos poluentes (Santamouris, 2005).

Nos países desenvolvidos, a concentração interior de poluição é muito similar à exterior, com um rácio de concentração do interior para o exterior entre 0,7 e 1,7 (Santamouris, 2005).

No entanto, a concentração de poluentes no interior pode ser duas a cinco vezes superior à dos poluentes exteriores (WHO, 1999).

De acordo com a United Nations Centre for Human Settlements a qualidade do ar interior é inadequada em 30% dos edifícios a nível mundial (LRC, 1993).

Assim a obtenção de boas condições de ambiente interior e ao mesmo tempo um edifício energeticamente eficiente e sustentável é muito importante, em especial no que à qualidade do ar interior, QAI, diz respeito e à obtenção de condições de conforto térmico. A Qualidade do Ambiente Interior é

essencial para a saúde, bem-estar e produtividade, sendo importante mesmo antes dos problemas de saúde serem notados (Fanger, 1998).

No passado considerou-se que os sistemas de ar-condicionado eram a solução (Santamouris, 2005). Actualmente existe uma visão mais abrangente, existindo um maior conhecimento das potencialidades de ventilação natural dos edifícios. Além disso verificou-se que os sistemas mecânicos de ventilação e os edifícios com ar-condicionado não tinham o desempenho esperado (Freitas, 2005).

Devido a este conhecimento e à crescente consciencialização do impacte ambiental adverso da dependência energética dos edifícios, apareceram os edifícios energeticamente eficientes, que utilizam sistemas de ventilação natural, que, em climas como o português, pode permitir a existência de condições de conforto, durante todo o ano, desde que exista uma utilização adequada. A ventilação natural exige pouco investimento e praticamente não necessita de manutenção.

A expressão “edifício ventilado de forma natural” abrange dois conceitos:

- a ventilação pode estar relacionada com o controlo da QAI: ventilação natural neste caso significa fornecer sistemas específicos (por exemplo ventiladores) de modo a garantir a obtenção de uma adequada QAI. Neste caso a entrada de ar pode ser realizada de forma natural, através de aberturas, e a extracção ser realizada através de ventiladores mecânicos;
- a ventilação pode estar relacionada com o controlo da temperatura, durante o verão, evitando o sobreaquecimento. Neste caso a ventilação natural é, em geral, usada em período nocturno, utilizando o ar exterior, relativamente frio, como o dissipador de calor para arrefecer a massa de armazenamento térmico do edifício.

Existem diversas formas de garantir a ventilação dos edifícios, de forma natural, mista (mais correntes em habitação) ou mecânica (em edifícios de comércio e de serviços). Estas formas de ventilação vão desde o simples abrir de portas e janelas, ventilação cruzada, até à introdução de grelhas auto-reguláveis em caixas de estores e envidraçados para a admissão de ar, grelhas em portas interiores, para circulação de ar e, de condutas de exaustão para a saída do ar viciado, de modo a garantir o número mínimo de renovações de ar por hora e assim manter as condições de salubridade no interior das habitações, até sistemas mecânicos para a introdução de ar novo e extracção do ar viciado.

Nas habitações, em geral, existe um exaustor na cozinha e nas casas de banho interiores, sendo por isso a ventilação conseguida de forma mista, entrada de ar pelas aberturas nos quartos e salas e saída através dos sistemas de exaustão (quando estes estão em funcionamento, pois o exaustor encerra a saída do ar, quando este não está em funcionamento). É assim necessário assegurar o funcionamento dos dispositivos de exaustão, no mínimo, nos momentos mais críticos (banhos e preparação das refeições) mas de preferência em contínuo (o que contribui para o aumento do campo sonoro no interior dos edifícios).

É então necessário conhecer a forma de atingir um nível de conforto adequado a todos os níveis, tendo em consideração que se devem garantir as condições e factores que conduzem ao bom comportamento comum dos diversos tipos de conforto e ponderar os factores não comuns caso a caso de modo a ser possível uma situação de compromisso em relação às outras formas de conforto.

A obtenção de conforto (térmico, acústico, lumínico ou visual e a qualidade do ar) não pode ser garantido por sistemas mecânicos, mas apenas complementado por estes, tendo em consideração o comportamento do utente e as características climáticas do local de implantação do edifício.

É também necessário, em simultâneo, garantir a sustentabilidade dos edifícios, considerando não só a vida útil do edifício (utilização e manutenção), mas também a fase de projecto (em que a grande parte

das decisões tem um peso enorme para o comportamento futuro das construções), construção e desmantelamento ou demolição.

A relevância da fase de projecto para o comportamento futuro do edifício, tanto em relação ao conforto como à sustentabilidade, mostra a importância de, nesta fase, prever com o máximo rigor possível o seu futuro comportamento.

Assim, é necessário simular o seu comportamento (térmico, acústico, visual, de qualidade do ar interior, etc.) na fase de utilização, prever as exigências de manutenção face à situação adoptada (qualidade dos materiais e também face às exigências crescente em relação ao seu comportamento) e também verificar a possibilidade de desmantelamento e reutilização dos seus componentes no fim do seu ciclo de vida.

Para tal é não só necessário conhecer o comportamento dos materiais a longo prazo, mas também prever as condições do ambiente no seu interior de modo a escolher a melhor solução para atingir todos os objectivos.

Assim além de definir o que é o conforto e a sustentabilidade é também necessário determinar a forma de os obter.

O **Conforto Térmico** é definido como a sensação de bem-estar relativamente à temperatura ambiente (Fanger, 1972; Fanger, 1982). Depende de um equilíbrio a atingir entre o calor produzido pelo corpo e as perdas de calor do corpo para o meio ambiente (Fanger, 1972; Fanger, 1982).

A sensação de conforto térmico depende da conjugação e da influência de vários factores, variáveis individuais (tais como o tipo de actividade, o vestuário e a aclimação) e variáveis ambientais (a temperatura do ar, a humidade relativa do ar, a temperatura média de radiação das superfícies vizinhas e a velocidade do ar) (Fanger, 1972; Fanger, 1982; Piedade, 2000).

Não existe nenhuma regra rígida que indique quais as melhores condições para o conforto de todas as pessoas, pois o conforto de um indivíduo é afectado mediante vários factores: saúde, idade, actividade, roupas, sexo, etc., existindo sempre um conjunto de pessoas que não se encontram em conforto (Fanger, 1972; Fanger, 1982).

Para obter o conforto térmico é necessário garantir a qualidade da envolvente, através de um isolamento adequado, inércia térmica, ganhos solares, etc., o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios define os requisitos que é obrigatório os edifícios respeitarem (RCCTE, 2006; RSECE, 2006).

Em Portugal as “Regras de Qualidade Térmica de Edifícios” propõem que os padrões de conforto sejam fixados nos valores limites dos seguintes parâmetros (Freitas, 1996):

- A temperatura do ar interior deverá estar compreendida entre os valores limites de 18°C e 26 °C, podendo estes limites ser excedidos em 2°C em períodos curtos. O RCCTE (RCCTE 2006) refere como temperaturas de referência 20°C para o Inverno e 25°C para o Verão.
- A flutuação diária de temperatura durante os períodos de ocupação não deve exceder $\pm 2^\circ\text{C}$ e em períodos de Inverno, a diferença de temperatura para locais não aquecidos não deve ser superior a 4°C;
- A humidade relativa do ar deve estar compreendida entre 35% e 85%, devendo evitar-se que de verão exceda os 60%;
- A velocidade do ar deve ser inferior a 0,2 m/s durante o Inverno, podendo de Verão atingir um máximo de 0,5 m/s;
- A temperatura média de radiação deve apresentar valores próximos dos da temperatura do ar;
- A temperatura do pavimento não deve exceder a temperatura do ar em mais do que 6°C.

A normalização internacional recomenda as seguintes condições de conforto para actividade sedentária (Piedade, 1986):

i) Condições de Inverno:

- temperatura operativa compreendida entre 20 e 24°C ($22 \pm 2^\circ\text{C}$);
- diferença de temperatura do ar na vertical entre 1,8 m e 0,1 m acima do pavimento (níveis da cabeça e do tornozelo) inferior a 3°C;
- velocidade média do ar menor que 0,15 m/s;
- assimetria de temperatura radiante, devida a janelas ou outras superfícies frias verticais, inferior a 10°C (em relação a um pequeno plano vertical colocado a 0,6 m acima do pavimento);
- assimetria de temperatura radiante, devida a painéis radiantes no tecto, inferior a 5°C (em relação a um pequeno plano vertical colocado a 0,6 m acima do pavimento).

ii) Condições de Verão:

- temperatura operativa compreendida entre 23 e 26°C ($24,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$);
- diferença de temperatura do ar na vertical entre 1,8 m e 0,1 m acima do pavimento (níveis da cabeça e do tornozelo) inferior a 3°C;
- velocidade média do ar menor que 0,25 m/s.

Para actividades desenvolvidas em edifícios residenciais, as temperaturas e humidade relativa recomendadas encontram-se na

Tabela 2.1 (RCCTE, 2006; Tuomisto, 2009).

Tabela 2.1 – Condições térmicas no interior dos edifícios para existência de conforto térmico (RCCTE, 2006; Tuomisto, 2009)

	Inverno	Verão
Temperatura ambiente	20°C	25°C
Humidade relativa	30% a 70%	50%

A norma EN 15251 define três classes de edifícios em função do número de pessoas descontentes. Na Tabela 2.2 são apresentados os intervalos de valores dos índices PPD e PMV correspondentes a cada uma das categorias de conforto térmico definidas pela norma EN 15251 (EN 15251, 2007).

Tabela 2.2 - Valores de PPD e PMV correspondentes a cada categoria de conforto térmico (EN 15251, 2007)

Categoria de conforto ¹	Estado térmico de um indivíduo	
	PPD (%)	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IV	> 15	PMV < -0,7; ou +0,7 < PMV

¹ I – elevado nível de exigência (lares de idosos, creches, por exemplo);

II - níveis de exigência normais, moderado (edifícios novos e reabilitados);

III - nível de exigência aceitáveis (edifícios existentes);

IV - valores fora dos critérios das categorias anteriores (níveis aceites apenas num período limitado).

A norma EN 15251 divide ainda os edifícios em dois tipos, os climatizados e os não climatizados, sendo as temperaturas definidas diferentes em cada caso, tal como mostra a Tabela 2.3, para os edifícios residenciais.

Tabela 2.3 - Valor recomendado para as temperaturas em vários espaços interiores de edifícios de habitação (EN 15251:2007)

Edifícios climatizados			
Tipo de edifício/ compartimento	Categoria de conforto ¹	Temperatura operativa (°C)	
		Mínima de aquecimento (Inverno) \cong 1 clo	Máxima de arrefecimento (Verão) \cong 0,5 clo
Residencial: espaços habitáveis (quartos, sala de estar, cozinhas, etc.) Sedentário \cong 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Residencial: outros espaços (despensas, corredores, etc.) Marcha \cong 1,6 met	I	18,0	-
	II	16,0	-
	III	14,0	-
Edifícios não climatizados			
Tipo de edifício/ compartimento	Categoria de conforto ¹	Gama de temperaturas (°C)	
		para aquecimento \cong 1 clo	para arrefecimento \cong 0,5 clo
Residencial: espaços habitáveis (quartos, sala de estar, cozinhas, etc.) Sedentário \cong 1,2 met	I	21,0 - 25,0	23,5 - 25,5
	II	20,0 - 25,0	23,0 - 26,0
	III	18,0 - 25,0	22,0 - 27,0
Residencial: outros espaços (despensas, corredores, etc.) Marcha \cong 1,5 met	I	18,0 - 25,0	-
	II	16,0 - 25,0	-
	III	14,0 - 25,0	-

¹ - ver Tabela 2.2

O **conforto acústico**, tal como o conforto térmico, é subjectivo. No entanto a qualidade mínima, quer em relação aos elementos construtivos, através dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão ($D_{2m, nT, w}$, $D_{nT, w}$ e $L'_{nT, w}$), quer em relação aos níveis de ruído no interior dos edifícios, definidos através do nível de avaliação (L_{AR}), é definida no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) e no Regulamento Geral do Ruído (RGR) (RRAE, 2008; RGR, 2007). Sendo necessário atingir estes requisitos para que existam condições mínimas de conforto (RRAE, 2008; RGR, 2007)

Mas, apesar de um edifício respeitar os requisitos regulamentares os seus habitantes podem considerar que não se encontram confortáveis, devido à sua sensibilidade, a hábitos de utilização diferenciados, mas também a outros factores, tais como a dificuldade de abertura de janelas e utilização de varandas e jardins, devido aos níveis sonoros exteriores serem elevados, apesar de, devido à boa qualidade acústica da parede de fachada os níveis sons e o índice de isolamento serem respeitados.

A não abertura das janelas irá por sua vez reduzir a ventilação dos espaços, caso não se utilizem outras formas de ventilação, como por exemplo a utilização de grelhas de ventilação auto-reguláveis, com isolamento sonoro adequado.

As condições de iluminação natural contribuem de forma significativa para a obtenção de condições de **conforto lumínico**. Para se obter um ambiente adequado é necessário respeitar as recomendações da Comissão Internacional de Iluminação, CIE.

A Comissão Internacional de Iluminação define os valores recomendados para a iluminância no plano de trabalho em edifícios residenciais, para a iluminância para zonas interiores, para o Factor de Luz do Dia, FLD, em edifícios não-residenciais e residenciais, em espaços dotados de iluminação natural, para as reflectâncias, para o quociente de luminância máximo e para os níveis de iluminância para vários tipos de actividades (CIE, 1975).

É, assim, necessário considerar a iluminação natural e a sua complementação com sistemas artificiais, conjugando a colocação, forma, localização e dimensões dos envidraçados e as suas características (vidro simples ou duplo, reflectância, transmissividade, etc.) com as exigências de ventilação, térmicas e acústicas.

O mesmo acontece com a iluminação artificial, que contribui para a carga térmica no interior dos edifícios e pode contribuir para a redução do isolamento acústico dos elementos construtivos (como é o caso dos focos embutidos nos tectos falsos).

A ventilação mecânica, quer com sistemas simples, como os exaustores de cozinhas e casas de banho, ou com sistemas mais complexos contribuem para o aumento dos níveis sonoros no interior das habitações e se mal projectados e executados podem criar pontes acústicas entre zonas, ou locais com menor isolamento. A nível térmico, ao extraírem o ar interior aumentam as cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento (ao retirarem o ar interior mais quente de Inverno e o ar mais fresco de Verão).

A **qualidade do ar interior** é garantida pelo Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e pelo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) (RCCTE, 2006; RSECE, 2006). A Norma Portuguesa NP 1037 de 2002 – Ventilação e evacuação dos produtos de combustão dos locais com aparelho a gás – cuja Parte 1 diz respeito à ventilação natural de edifícios de habitação, define as regras a que devem obedecer os sistemas de ventilação natural destes edifícios, de modo que os mesmos cumpram a sua função nos seus múltiplos aspectos, como seja a qualidade do ar interior (NP 1037, 2002).

Assim é necessário conjugar estes factores de modo a garantir a qualidade de vida no interior dos edifícios, ou seja o conforto global, higrotérmico, acústico, visual/lumínico e a qualidade do ar interior e, ao mesmo tempo, utilizar soluções sustentáveis.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável surgiu em 1987 no Relatório “O Nosso Futuro Comum”, mais conhecido por Relatório Brundtland, da autoria de Gro Harlem Brundtland, que o definiu como: “O processo de desenvolvimento que permite às gerações actuais satisfazerem as suas necessidades sem colocar em perigo a satisfação das necessidades das gerações futuras” (Brundtland, 1987).

O que significa que o processo de desenvolvimento das sociedades actuais não deve ser sinónimo de exploração exaustiva de recursos naturais, sob pena de comprometer a sobrevivência das gerações futuras por falta de recursos, é então necessário reduzir os consumos energéticos, melhorando a qualidade dos edifícios, mas também reduzir os consumos de matérias-primas, reciclando e reutilizando e utilizando materiais com menor energia incorporada.

Em 1992, realizou-se no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento, a Cimeira da Terra na qual foi definido e elaborado o plano de acção para o Desenvolvimento Sustentável, a Agenda 21.

Este plano de acção contempla não apenas o ambiente, mas também o desenvolvimento social e económico. Devendo permitir a conservação e valorização dos recursos naturais, contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente, promover a equidade e coesão social, combater a pobreza e a exclusão social, fortalecer a economia local e valorizar os produtos regionais.

Em 1997, a Cimeira de Quioto, fixava os objectivos de redução das emissões equivalentes de dióxido de carbono, CO₂, e as linhas de acção a desenvolver nesse sentido.

Uma vez que em Portugal grande parte da electricidade é produzida em centrais térmicas e 58% da electricidade é utilizada nos edifícios, a redução das emissões de CO₂ passa também pelos edifícios (através da melhoria da sua qualidade térmica e lumínica, por exemplo).

Os edifícios não são alheios à sustentabilidade, com aumentos nos consumos energéticos no sector dos edifícios da ordem dos 7% ao ano em Portugal e, com a exigência crescente dos utilizadores finais para obter níveis de conforto mais elevados (já que tradicionalmente isto não acontece), quer nas habitações, quer nos locais de trabalho e de lazer (DGGE, 2004; Gonçalves, 2005; Maldonado, 2005).

Os edifícios são o segundo sector em termos de emissão de Gases de Efeito de Estufa (GEE) (Gonçalves, 2005).

O sector da construção tem, assim, um potencial elevado de melhoria de eficiência, quer a nível do conforto, quer a nível dos consumos energéticos e, por conseguinte da sustentabilidade (Guia EdSust, 1999; DGGE, 2004; Gonçalves, 2005).

A sustentabilidade, aplicada ao sector da construção, é um conceito complexo e multi-disciplinar, que para a sua implementação requer a intervenção de todos os agentes implicados, desde o arquitecto responsável pela definição do edifício (funcionalidade interna), que tem que considerar uma utilização de recursos (materiais e equipamentos), mas também pelo planeamento urbano das cidades, que define o alinhamento e a organização dos arruamentos (e, assim possibilitar, ou não o acesso solar aos edifícios), até ao utilizador final, que tem que exigir qualidade e assim orientar a oferta do mercado (Guia EdSust, 1999).

Assim, é necessário ter em consideração um conjunto de factores, recomendações, critérios e características dos materiais utilizados nos edifícios para definir e seleccionar opções que motivem a construção de edifícios sustentáveis, mas que, ao mesmo tempo, ao longo do seu ciclo de vida (construção, utilização, manutenção, reabilitação e desmantelamento e/ou demolição) utilizem de forma eficiente os recursos neles utilizados (materiais, energia, água, etc.).

O ciclo global da construção gere um elevado impacte ambiental: consumo de recursos materiais, emissão de contaminantes, resíduos procedentes das etapas de extracção de alguns materiais, construção e desmantelamento/demolição e também uma grande quantidade de recursos energéticos consumidos durante a vida útil do edifício (Guia EdSust, 1999).

Estes impactes mostram que os edifícios têm que ser uma área prioritária de actuação para levar a cabo um desenvolvimento sustentável (Guia EdSust, 1999).

É necessário aplicar as soluções que melhor permitam reduzir o impacte na saúde e no meio ambiente e melhorar o conforto e a segurança dos utilizadores dos edifícios.

O impacte que a construção de um edifício tem sobre o meio ambiente pode ser analisado a partir dos pontos seguintes (Guia EdSust, 1999):

- Implementação da construção num determinado local - integração na envolvente;
- Comportamento de um edifício ao longo da sua vida útil, avaliado / analisado desde a influência do projecto de arquitectura;
- Consumo energético durante a vida útil do edifício, analisado desde as instalações energéticas utilizadas;
- Características dos materiais utilizados pelo impacte que podem produzir sobre o meio ambiente durante o processo de fabrico, durante a vida útil e durante a fase de reciclagem ou eliminação.

Cada um destes pontos afecta temas diferentes, ainda que todos eles convirjam na definição de um projecto de construção (Guia EdSust, 1999).

A construção e reabilitação dos edifícios são também uma das principais fontes de poluição do meio ambiente e dos ecossistemas naturais, já que o sector da construção é responsável por mais de 50% dos recursos materiais retirados da natureza (por exemplo, pedra numa pedreira ou areia num rio ou no mar) e por mais de 50% da produção nacional de detritos (Teixeira, 2001).

A associação destes factores, conforto e ecologia, com as exigências de um correcto funcionamento dos edifícios e sem um consumo excessivo de energia, é um desafio bastante actual e que se integra dentro da temática da construção sustentável, sendo uma das grandes metas a atingir no século XXI.

O aumento da capacidade económica e o conseqüente aumento do poder de compra da população portuguesa, em conjugação com a comercialização de um maior número de equipamentos de climatização a preços mais acessíveis (por exemplo sistemas de ar condicionado de pequenas dimensões), conduziu a um maior grau de exigência de conforto no interior das habitações e a um aumento em cerca de 20% em 1998 e de 11% em 1999 na instalação de sistemas de ar-condicionado (Teixeira, 2001). Segundo a "The Building Services Research & Information Association", o maior crescimento ocorreu na Grécia, em Espanha e na Itália, países que, tal como Portugal, possuem grandes potencialidades para a obtenção de condições de conforto sem recurso a sistemas activos de climatização, o que indicia que a relação do edifício com a sua envolvente e com os potenciais recursos solares não é aproveitada (Teixeira, 2001).

As barreiras dos projectos sustentáveis são muitas vezes ditas económicas, uma questão de custos. Mas existem evidências de que os edifícios com elevado desempenho podem ser projectados para serem economicamente viáveis (Rovers, 2001). Em primeiro lugar alguns dos custos associados com uma maior eficiência energética (maior estanquidade da envolvente, maior nível de isolamento, melhores envidraçados, iluminação adequada, etc.) deve ser ultrapassada pelos menores custos para adquirir, operar e eventualmente substituir equipamentos AVAC de maiores dimensões (Rovers, 2001). Em segundo lugar é sabido que os edifícios otimizados aumentam o conforto, felicidade/alegria e, deste modo, a produtividade dos que neles habitam ou trabalham, o que é directamente traduzido no aumento do lucro e do valor (Rovers, 2001). Em terceiro lugar há benefícios colaterais que surgem com a maior qualidade do projecto, que não são menos reais por não ser possível prevêê-los e serem difíceis de quantificar (Rovers, 2001).

Ou seja as barreiras aos projectos sustentáveis não são tanto económicas mas de imaginação e de qualidade de projecto (Rovers, 2001).

A ecologia e a sustentabilidade, na sua vertente da redução dos consumos energéticos, são outras das preocupações actuais.

No entanto, nos últimos anos tem-se verificado que a construção está fortemente assente em meios mecânicos para a obtenção das condições de conforto. Actualmente os projectistas presumem que todos os problemas relacionados com o conforto no ambiente construído se podem resolver com o recurso a equipamentos mecânicos para obtenção de valores de temperatura, humidade relativa e de iluminação dentro dos valores pretendidos, devido ao desconhecimento das técnicas passivas de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação e das suas potencialidades, bem como a falta de consciencialização para os problemas energéticos e ambientais.

Os problemas associados às necessidades de ventilação são também cada vez mais agravados pela crescente estanquidade das caixilharias e também pela actuação dos habitantes que, ao não abrirem as janelas para garantir uma ventilação suficiente dos espaços, tornam necessário a introdução de grelhas de ventilação auto-reguláveis para garantir um caudal mínimo de renovação de ar, de forma a não só a

manter a qualidade do ar, mas também para evitar condensações e outros problemas a elas associados, tais como o aparecimento de fungos e bolores e a degradação dos materiais de construção.

As recomendações técnicas existentes em vários países sobre ventilação propõem taxas médias de uma renovação por hora nos compartimentos principais, ou seja quartos e salas (30 m³/h para compartimentos com áreas inferiores a 12 m² e 60 m³/h se os compartimentos com áreas compreendidas entre 14 e 24 m²) e quatro renovações de ar por hora nos compartimentos de serviços, cozinhas e instalações sanitárias (60 m³/h em instalações sanitárias com banheira e área inferior a 5,5 m² e 30 m³/h em arrumos com área inferior a 2,8 m²) (Viegas, 1995; NP 1037-1, 2002).

Estas taxas podem ser reduzidas para metade quando a actividade nos compartimentos principais for reduzida ou fora dos períodos de utilização dos compartimentos de serviço (Viegas, 1995; NP 1037-1, 2002).

A introdução das grelhas de auto-ventilação, ou de outro sistema de ventilação passivo ou activo, deve ter em atenção que não deve reduzir a capacidade de isolamento quer térmico quer acústico dos elementos (dado que estes sistemas estabelecem a ligação entre o exterior e o interior), nem aumentar o nível sonoro no interior dos edifícios devido ao funcionamento dos sistemas mecânicos.

Além dos sistemas mecânicos de ventilação e de ar-condicionado, o cada vez maior número de equipamentos, como por exemplo os aparelhos de televisão, Hi-Fi, máquinas de lavar e secar roupa, máquinas de lavar loiça, conduziram a um aumento do nível sonoro no interior das habitações, o que, em conjugação com a redução do peso por metro quadrado da construção (devido à evolução tecnológica e à necessidade de redução de custos, meios e recursos), conduziu, em alguns casos, à redução da capacidade de isolamento acústico a sons de condução aérea e a sons de percussão dos elementos construtivos, o que teve como consequência a diminuição do conforto acústico no interior das habitações.

A iluminação dos espaços, quer por uma questão de economia (relacionada com o seu próprio custo, mas também com as cargas térmicas a ela devidas) quer por uma questão de qualidade do ambiente construído (que se pretende que seja obtido de forma natural), é um tema que tem merecido uma atenção cada vez maior, uma vez que além da necessidade de garantir um nível adequado de iluminação em todos os locais de um compartimento (dependentes da configuração da sala, das características do envidraçado e das suas dimensões), é também necessário ter em atenção, por exemplo, as perturbações causadas pelos reflexos em ecrãs de computadores, de televisão, etc..

Assim, o controlo da iluminação requer a utilização de dispositivos adequados, sendo por vezes insuficientes os dispositivos de sombreamento necessários para a protecção solar dos recintos e/ou dos dispositivos de oclusão dos envidraçados para protecção térmica destes vãos. Estes dispositivos são tanto mais importantes quanto maior for a área de envidraçados, como é o caso das fachadas cortina, muito usuais nos edifícios de comércio e serviços.

O conforto nas habitações é cada vez mais um tema em discussão, tendo o estudo das condições de conforto no interior das habitações vindo a ganhar importância crescente dada a maior exigência dos utilizadores e dado o cada vez mais frequente estudo, desenvolvimento e aplicação de novos materiais e técnicas construtivas.

Mas, a maior parte dos intervenientes no sector da construção desconhece as características e possibilidades dos novos materiais e técnicas construtivas, sendo muitas vezes utilizados porque são um material muito em voga. Por outro lado, as técnicas construtivas mais adequadas aos diversos materiais, o seu comportamento ao longo da vida do edifício e a sua durabilidade são ainda uma incógnita.

Assegurar a qualidade e o conforto das construções assenta na compatibilização de múltiplas exigências, nem sempre conciliáveis, mas, em geral, esta não tem sido global e integrada, o que conduziu a edifícios sem a qualidade pretendida.

Esta análise integrada das questões relacionadas com a obtenção de conforto no interior das habitações em todas as suas vertentes, bem como a avaliação da sustentabilidade das construções, é, assim, de extrema importância para a qualidade do ambiente construído.

O que acima foi dito realça a importância de um estudo integrado e conjunto das questões térmicas, de ventilação, de iluminação e acústicas, uma vez que todas elas estão interligadas e a actuação numa dada componente tem consequências importantes nas restantes.

Assim, o estudo destas questões deve englobar a avaliação do desempenho de diversas soluções construtivas, sob o ponto de vista da determinação das suas potencialidades para propiciarem nos edifícios um ambiente confortável, considerando o conforto térmico e acústico e as condições de ventilação e de iluminação dos espaços.

2.3 A Qualidade do Ambiente Interior

O conforto dos ocupantes é a principal exigência do ambiente interior. Existem diversos problemas ao nível do conforto devidos a níveis desadequados de temperatura e humidade relativa, condições de iluminação, níveis de ruído inaceitáveis, má qualidade do ar interior e condições ergonómicas adversas.

As condições do ambiente interior estão fortemente relacionadas com o comportamento energético de grande parte dos edifícios, uma vez que uma grande parte da energia consumida nos edifícios é usada para otimizar o ambiente interior, em especial as condições térmicas e a iluminação (Chappells, 2005).

Torna-se então necessário assegurar as condições de saúde e bem-estar (conforto) e em simultâneo garantir a sustentabilidade das Construções.

Surgiram assim a nível nacional e internacional um conjunto de normas e regulamentos que visam assegurar as condições de conforto e a Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios.

A qualidade do ambiente interior pode assim tornar-se um bom trunfo para a competitividade na construção, trazendo vantagens para todos os intervenientes. Para tal, há que criar uma estratégia que englobe todos os interessados de forma a haver uma eficiente consciencialização da sua importância para a qualidade de vida e saúde das pessoas e que sejam efectivamente implementadas medidas com vista a obtenção de ambientes interiores dos edifícios com qualidade (Hanssen, 2002).

Existe uma vasta gama de parâmetros que podem contribuir para a qualidade do ambiente interior, sendo os mais importantes: o conforto térmico; o conforto lumínico, associado à iluminação natural; a qualidade acústica; e a qualidade do ar interior. Existem ainda outros factores, como é o caso da ergonomia e da estética de espaços, que também estão associados à satisfação dos ocupantes.

O conceito de qualidade do ambiente interior inclui diferentes parâmetros interligados (Hanssen, 2002):

- ambiente térmico;
- ambiente atmosférico (partículas, bactérias, vírus, fungos, bolores, mofo, compostos orgânicos voláteis, etc.);
- ambiente acústico;
- ambiente actínico (iluminação, radão e campos electromagnéticos);
- ambiente mecânico (ergonomia, forma dos compartimentos e equipamentos, etc.);
- ambiente estético (disposição e design do edifício, cor das paredes, etc.);

- ambiente psico-social (trabalho, volume e velocidade de trabalho, controlo do trabalho executado, etc.).

Na Figura 2.3 apresenta-se um organigrama com a representação do modelo ambiental holístico com a indicação dos diferentes factores que interferem na qualidade do ambiente interior dos edifícios.

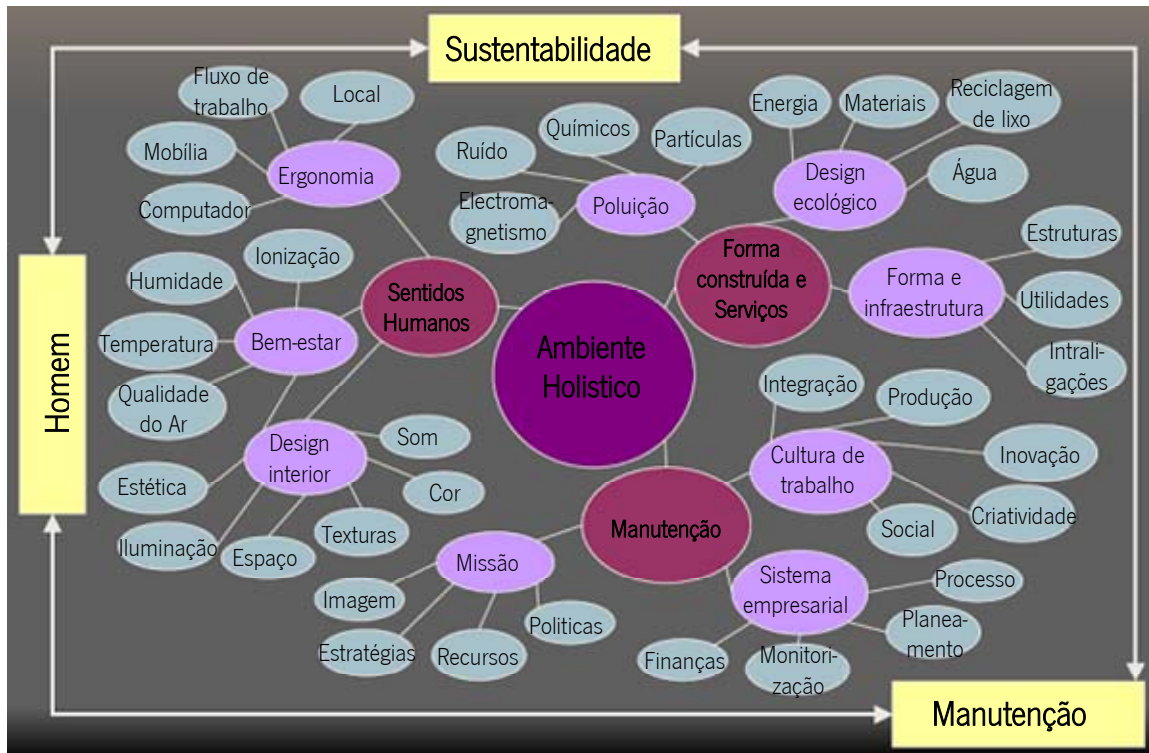


Figura 2.3 – Representação do Modelo Ambiental Holístico (Adaptado de Hanssen, 2002)

O conceito de ambiente interior inclui todos os aspectos das relações entre os ocupantes e os conteúdos de um edifício e da sua envolvente dentro do edifício. Isto pode ser considerado em termos de aspectos climáticos e não climáticos, que são definidos nos parâmetros principais (Figura 2.4), descritos de seguida:

Climáticos:

- Temperatura ambiente;
- Humidade relativa;
- Temperatura média de radiação;
- Velocidade do ar.

Outros parâmetros:

- Qualidade do ar;
- Ambiente estético ou visual incluindo:
 - Geometria espacial;
 - Cores;
 - Comunicação visual com o exterior, paisagem;
- Níveis de iluminação e iluminação natural;
- Ambiente acústico;
- Vibrações;

- Electricidade estática;
- Radiação ionizadora;
- Densidade de ocupação.



Figura 2.4 – Parâmetros que afectam a qualidade do ambiente interior

Os parâmetros referidos podem ser afectados por vários factores, nomeadamente, o local de implantação do edifício, a geometria do mesmo, a concepção da envolvente, o tipo de ocupação, as actividades nele realizadas, os hábitos dos ocupantes, os materiais existentes, os produtos de limpeza utilizados, o tipo e a quantidade de iluminação existente, os sistemas de climatização, entre muitos outros.

Para otimizar o comportamento dos edifícios, garantindo as condições de conforto, a qualidade do ar interior, a eficiência energética e a redução dos consumos energéticos dos edifícios é necessário considerar estes aspectos desde a fase inicial de projecto (anteprojecto, avaliação preliminar), para toda a vida útil do edifício.

A eficiência energética necessita ser considerada em todos os estágios do ciclo de vida do edifício (desde o início, aquisição, concepção, projecto, construção, entrada em funcionamento, operação e finalmente desmantelamento e demolição). A eficiência energética pode ser conseguida quando todos os aspectos do projecto, construção e operação do edifício são integrados de forma coordenada para tirar partido das oportunidades que esta sinergia possibilita.

A tomada de decisão é crítica para o sucesso do projecto integrado de um edifício. O custo das alterações ao projecto aumenta de forma exponencial com o tempo à medida que o projecto é mais detalhado e a possibilidade de se conseguirem reduções dos consumos energéticos do edifício diminui, tal como mostra a Figura 2.5.

As opções são cada vez mais limitadas, o que significa que se é realizada uma alteração que não está de acordo com as decisões já tomadas, esta será mais cara, uma vez que acarreta a realização de alterações em vários outros aspectos que foram definidos com base nas decisões iniciais. É por isso necessário e lucrativo, em termos não só de tempo, mas também de dinheiro, pensar cuidadosamente em todos os aspectos relacionados com a qualidade do ambiente interior e da redução dos consumos energéticos dos edifícios, logo na fase inicial de projecto.



Figura 2.5 – Custo / benefício de alterações ao projecto no que respeita a redução dos consumos energéticos (Adaptado de ENSAR Group and E SOURCE)

O estudo deve considerar desde a orientação, quer em relação ao sol, mas também em relação aos ventos dominantes, e a relação entre o edifício e a sua envolvente, relevo, outros edifícios, árvores, vegetação, rios e lagos, etc..

A envolvente do edifício é definida como o conjunto de elementos que formam a fronteira entre o ambiente interior e o ambiente exterior de um edifício, inclui o pavimento, a cobertura, as paredes e os envidraçados. É um “filtro” entre o ambiente interior e exterior, servindo para proteger os espaços interiores das condições exteriores e os seus impactes indesejáveis, tais como o frio, o calor, o vento, a radiação excessiva, ao mesmo tempo que permite o aproveitamento das condições vantajosas, como por exemplo a brisa para arrefecer o interior num dia quente, iluminação, etc..

A envolvente do edifício influencia directamente o comportamento térmico e os consumos energéticos do edifício da seguinte forma:

- Resistir à transferência de calor indesejável;
- Permitir a transferência de calor desejável;
- Fornecer massa de armazenamento térmico;
- Permitir as condições de iluminação natural;
- Evitar a penetração indesejável de iluminação (encadeamento);
- Garantir a ventilação necessária;
- Evitar a ventilação desnecessária/ indesejável.

Ou seja a envolvente tem que assegurar e evitar os mesmos fenómenos. O estudo da envolvente deve incluir a análise de diversos factores, tal como mostra a Figura 2.6, não só para a definição de áreas, mas também de materiais e soluções construtivas.

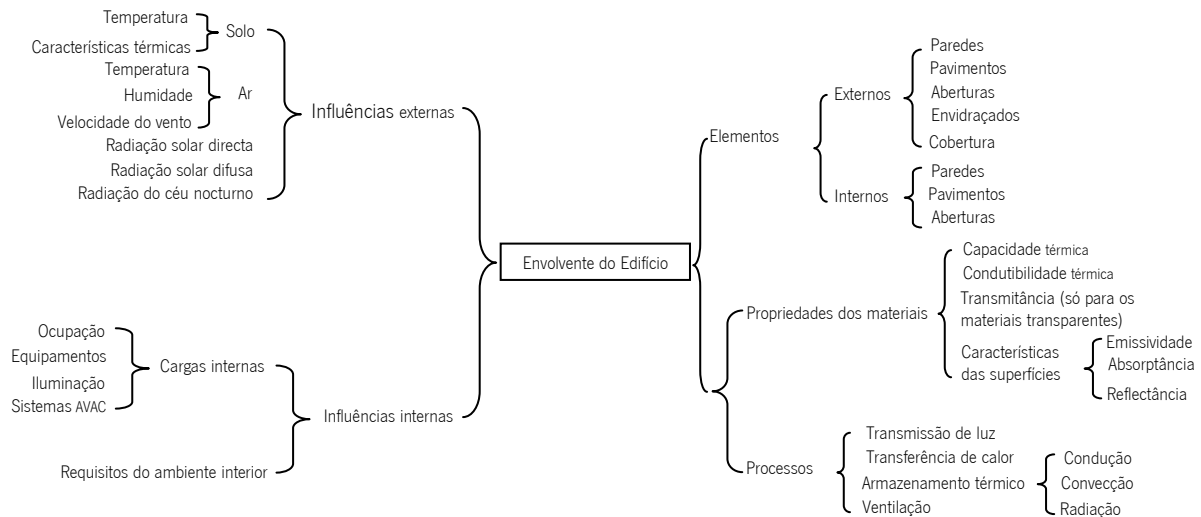


Figura 2.6 – Factores que influenciam a definição da envolvente do edifício

As principais causas de perdas térmicas dos edifícios são:

1. Perdas por condução através de envidraçados, paredes e cobertura, se a temperatura exterior for inferior à temperatura interior, dependendo do nível de isolamento da envolvente;
2. Infiltrações – o ar frio do exterior pode entrar no edifício através de fissuras, envidraçados e portas abertas.
3. Ventilação.

Existem três fontes principais de ganhos térmicos através da envolvente do edifício:

1. Ganhos solares através dos envidraçados – a radiação solar que atravessa os envidraçados pode provocar sobreaquecimento do edifício se a área de envidraçados for muito elevada e se estes não possuírem sistemas de sombreamento eficazes. Num edifício bem concebido os ganhos solares não devem ultrapassar os 25 W/m² de área de pavimento, mas podem atingir os 100 W/m² se a área de envidraçados for muito elevada (e-News Issue 57, 2006);
2. Ganhos por condução através de envidraçados, paredes e cobertura, se a temperatura exterior for superior à temperatura interior, dependendo do nível de isolamento da envolvente;
3. Infiltrações – o ar quente pode entrar no edifício através de fissuras, envidraçados e portas abertas.

Os ganhos internos dependem do tipo de edifício e em geral incluem:

1. Ocupantes – o calor gerado pelos ocupantes pode ser de 8 W/m², para uma densidade de ocupação de 1 ocupante/12 m² (e-News Issue 57, 2006);
2. Iluminação – as cargas térmicas devido à iluminação artificial podem atingir valores de 12 W/m² para a utilização de lâmpadas fluorescentes até 50W/m² ou mais para lâmpadas dicrónicas ou incandescentes (e-News Issue 57, 2006);
3. Equipamento de escritório – computadores, fotocopiadoras e outros equipamentos podem introduzir cargas térmicas significativas nos edifícios;
4. Electrodomésticos;
5. Sistemas AVAC.

O objectivo do controlo do ambiente (clima) no interior dos edifícios é o de garantir o conforto e o bem-estar e prevenir doenças e efeitos de saúde negativos. Na prática, no entanto, não é possível garantir estes objectivos para todos os ocupantes. O que pode ser esperado é que o risco para a saúde que o ambiente interior represente seja insignificante ou negligenciável, mesmo para grupos de pessoas mais sensíveis do que a média.

A relevância do controlo e avaliação da qualidade do ar interior em edifícios resulta do facto, de actualmente, as pessoas passarem cada vez mais tempo dentro de edifícios (cerca de 90% nas habitação, emprego, serviços, lazer) ficando desta forma expostas à acção de poluentes, relacionados com os materiais usados na construção e manutenção dos edifícios, com os sistemas AVAC, com os ocupantes e com a qualidade do ar exterior (US.EPA, 2004).

Considerando ainda que actualmente cerca de 60% da população europeia vive nas cidades, prevendo-se mesmo um aumento nas próximas décadas, o que fará aumentar o consumo energético e a poluição do ar, dificultando ainda mais a obtenção das condições de qualidade do ar interior adequadas (Hanssen, 2002; Kotzias, 2000).

A Qualidade do Ar Interior, QAI, pode ser definida como um ambiente contendo a menor concentração possível de um conjunto elevado de poluentes do ar, de modo a satisfazer as condições de saúde, conforto e bem-estar da grande maioria dos ocupantes do edifício, em qualquer momento. Referindo-se à qualidade do ar no interior e exterior dos edifícios em especial no que se refere à saúde e conforto dos ocupantes edifício.

De acordo com Fanger, os critérios para a Qualidade do Ar Interior devem ser estabelecidos a três níveis de resposta:

- Comportamental (desempenho de tarefas, desempenho auto-estimado, observação do comportamento espontâneo);
- Percepção subjectiva (aceitabilidade, satisfação, se o a qualidade do ar tem efeitos negativos ou positivos, descrição do tipo de odor);
- Fisiológico (intensidade dos sintomas de saúde auto-estimada, medições objectivas, por exemplo a taxa de piscar de olhos, respiração, medições da actividade metabólica).

A QAI debruça-se não só na componente química da composição do ar, mas também na sua composição bacteriológica, entando dependente não só dos poluentes originados no interior (materiais dos elementos construtivos da habitação e mobiliário, por exemplo), mas também dos poluentes exteriores, que nas cidades são muito elevados, ou até serem produzidos pelo metabolismo humano, devendo ser vista como uma acção dinâmica combinada entre o ambiente interior do edifício, ocorrendo entre a envolvente do edifício, os seus sistemas, mobiliário e o espaço usado pelos ocupantes, podendo ser influenciada pelas actividades dos ocupantes e pelas condições do ambiente.

Se a concentração de certos contaminantes for excessiva, problemas de saúde relacionados com a qualidade do ar interior poderão afectar a saúde dos habitantes e/ou a estrutura da habitação de várias formas, por exemplo, a humidade, o bolor, os fungos os cheiros desagradáveis, e o “ar pesado”.

Os problemas que mais frequentemente afectam a qualidade do ar interior são deficiências no sistema de ventilação, fumo de tabaco, contaminação microbiológica e agentes poluidores do ar exterior.

A produção de poluentes está associada à ocupação do espaço, ao uso de produtos de limpeza, à existência de materiais e equipamentos poluentes, associada à deficiente ventilação e renovação do ar, são alguns dos factores que contribuem para que tanto o número de poluentes como a sua concentração sejam, em geral, muito mais elevados no ar interior do que no exterior (APA, 2009).

São vários os factores de risco com consequências para a saúde que afectam a qualidade do ar interior no edifício:

- Materiais de construção dos edifícios, vernizes, tintas, espumas de isolamento e produtos de madeira prensada responsáveis pela libertação de formaldeído e compostos orgânicos voláteis (COV);
- Deficiente renovação do ar;
- Processos de fabrico com libertação de vapores poeiras e metais;
- Produtos de limpeza;
- Fumo de tabaco; liberta gases inorgânicos, metais pesados, partículas e compostos orgânicos voláteis;
- Humidade; em níveis elevados, há riscos de condensação nas paredes e janelas que danificam os edifícios e originam a formação de bolores e favorecem o desenvolvimento de outros microrganismos;
- Má conservação dos sistemas de climatização.

O Síndrome dos Edifícios Doentes é um exemplo dos problemas associado à redução da ventilação dos espaços que foi implementada de forma a reduzir os consumos energéticos para aquecimento e arrefecimento. O reconhecimento dos problemas associados à falta de ventilação dos espaços levou à análise da qualidade do ar interior dos edifícios

Actualmente muitos ocupantes dos edifícios manifestam desconforto (incómodo) ou ficam doentes nos edifícios modernos. Designações como o de síndrome de edifícios doentes (Sick Building Syndrome, SBS), síndrome dos edifícios estanques (Tight Building Syndrome, TBS), doenças relacionadas com os edifícios (Building Related Illness, BRI) e sensibilidade múltipla por químicos (Multiple Chemical Sensitivity, MCS) (Cuell, 1993; Robertson, 1995).

Os principais factores que causaram o Síndrome dos Edifícios Doentes foram a reduzida ventilação, a má distribuição do ar dentro dos espaços (impedindo a renovação do ar em todos locais), o controlo deficiente da temperatura, a concepção inadequada dos edifícios (entrada de ar a partir de aberturas junto a ruas com níveis de poluentes elevados), a falta de manutenção apropriada dos filtros dos sistemas de ar condicionado (gerando bactérias e fungos) e, ainda, de questões psicológicas decorrentes de ambientes stressantes, com ruído elevado e/ou nível de iluminação inadequado (Rohles, 1987; EPA, 1991; Alexandre;1999).

Os sintomas frequentemente atribuídos a problemas de qualidade do ambiente interior incluem dores de cabeça, fadiga, falta de ar, congestão dos seios nasais, vias respiratórias secas ou irritadas, tosse, espirros, irritação dos olhos, nariz, garganta e da pele, alergias, tonturas, vertigens e náuseas. Muitos destes sintomas podem ocorrer ao mesmo tempo.

O número de pessoas alérgicas e asmáticas tem vindo a aumentar, em especial nos países do norte e do centro da Europa, onde as condições exteriores mais adversas levam a que as pessoas passem mais tempo no interior dos edifícios, que por sua vez possuem níveis de isolamento e de estanquidade mais elevada, bem como menores taxas de renovação de ar, de modo a reduzir os consumos energéticos dos edifícios (Hanssen, 2002). Estas condições resultaram em concentrações mais elevadas dos poluentes e químicos emitidos pelos materiais e actividades desenvolvidas no interior dos edifícios, bem como o aumento da humidade relativa no interior dos edifícios, o que pode ter conduzido a doenças e sintomas associados aos edifícios.

Para alguns efeitos existe uma relação entre a exposição a poluentes no interior dos edifícios e doenças respiratórias, alergias e irritação das mucosas (Lindwall, 1996; Anderson et al., 1997; Ahlbom et al., 1998; Wargocki et al., 2000; Bornehag et al., 2001; Bornehag et al. 2003; Schneider et al., 2003; Bornehag et al., 2004; Naydenov et al., 2007; Sundell et al. 2007; Sundell, 2009).

Em muitos edifícios, a falta de qualidade do ar interior está relacionada com vários problemas de saúde dos ocupantes, originando doenças crónicas e afectando o comportamento dos ocupantes, com reflexos significativos no bem-estar e na produtividade dos mesmos (ADENE, 2009).

Uma má qualidade do ambiente interior acarreta custos socioeconómicos que podem ser vistos em três dimensões: a primeira consiste na perda de anos produtivos devido a incapacidade ou morte prematura, a segunda, consiste numa perda devido ao aumento do absentismo e, por último, a diminuição da produtividade (Hanssen, 2002; EN°15251, 2007; Fernandes, 2008).

O possível impacte económico da insuficiente qualidade do ambiente interior é elevado, sendo estimado em dezenas de milhar de euros por ano na Europa (Hanssen, 2002).

Segundo a Associação Americana de Pneumologia, “a poluição de ar de interiores custa aos executivos americanos acima de 100 bilhões de dólares por ano devido ao absentismo, a perda de produtividade e aos custos de intervenção médica” (ANVISA, 2008).

Estudos comprovam que os custos anuais com o aquecimento, ventilação e limpeza de um edifício de escritórios, por exemplo, são pequenos quando comparados com as perdas de saúde e produtividade que podem resultar de más condições do ambiente interior (Hanssen, 2002).

Só os custos de trabalho são estimados em 10 a 100 vezes superiores, por metro quadrado de escritório, quando comparados com os custos energéticos ou de manutenção dos edifícios (EPA 1989, Djukanovic, Wargocki e Fanger, 2002).

Na Noruega, em 1991, os custos para a sociedade devido à má qualidade do ambiente interior, que causam problemas que requerem tratamento médico, não incluindo perdas de eficiência e de produtividade, foram estimados em 1 a 1,5 biliões de Euros por ano (250 a 350 € por habitante) (Larsen, 1991).

Assim, edifícios que possuam uma adequada qualidade do ambiente interior terão menos problemas associados a responsabilidades legais com a qualidade do edifício, este terá um maior valor de mercado e os seus ocupantes serão mais produtivos e terão mais saúde, conforto e bem-estar.

A saúde e a produtividade dos ocupantes são os pontos mais relevantes e analisados pela Organização Mundial de Saúde (“A Healthy and Safe Physical Environment”, European Health 21 Target 10, Copenhaga, Setembro de 1998), definindo estratégias para o desenvolvimento de regras para qualidade do ar interior em edifícios, em especial em habitações, escolas, escritórios, estabelecimentos de saúde e outros edifícios públicos e de serviços (“Strategic approaches to indoor air policy-making”, 1999, WHO European Centre for Environment and Health in Bilthoven). Sendo definidos os papéis dos diferentes intervenientes, desde os Governos, Sector público e privado, indústria e investigadores.

Assim é necessário considerar, logo na fase de projecto a necessidade do edifício respeitar os requisitos relativos à qualidade do ar interior. Decisões erradas durante esta fase são difíceis de rectificar. A inadequada selecção de materiais e taxa de ventilação insuficiente, por exemplo, conduzem a aumento de concentração de poluentes e humidade relativa mais elevada, o que pode originar o aparecimento de condensação. O mesmo pode ocorrer com as medidas para reduzir os consumos energéticos dos edifícios.

A qualidade do ar interior, o conforto térmico, o conforto lumínico e o conforto acústico, na medida em que caracterizam a qualidade do ambiente interior, irão ter influência no conforto, no bem-estar e na saúde dos ocupantes, tendo impactes positivos e negativos sobre eles.

Assim, é vital que a qualidade do ambiente interior e os consumos energéticos dos edifícios sejam considerados em simultâneo, Figura 2.7. No entanto, esta tarefa não é fácil, devido à multidisciplinaridade e complexidade do estudo da qualidade do ambiente interior.

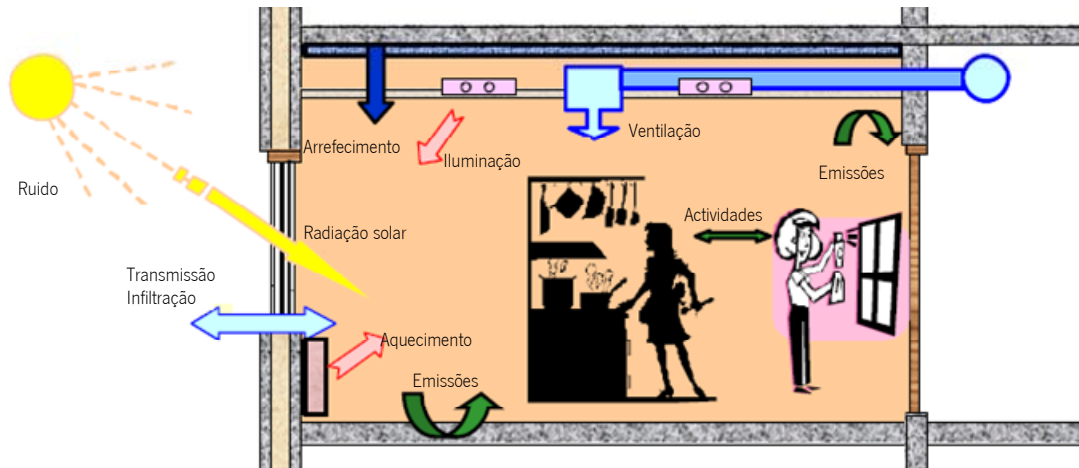


Figura 2.7 – Representação esquemática dos diferentes parâmetros que influenciam a qualidade do ambiente interior (Adaptado de Hanssen, 2002)

Na Tabela 2.4 apresentam-se os impactes dos parâmetros fundamentais da qualidade do ambiente interior, sobre os ocupantes.

Tabela 2.4 - Impactes dos parâmetros fundamentais da qualidade do ambiente interior (Adaptado de Gitahy, 2007)

Parâmetros	Impactes positivos	Impactes negativos
Conforto térmico	Sensação de prazer, estímulo sensorial, maior satisfação, aumento do desempenho na execução das tarefas.	Desconforto e insatisfação. Absentismo. Redução do ritmo de trabalho.
Conforto acústico	Sensação de prazer, estímulo sensorial, maior satisfação, aumento do desempenho na execução das tarefas, maior concentração.	Perda de concentração, dificuldade da realização de tarefas que exijam raciocínio. Confusão mental, stress, dores de cabeça e fadiga. Susceptibilidade de efeitos cardiovasculares resultantes da evolução da hipertensão. Pode acelerar ou intensificar desordens mentais como latentes como ansiedade, agressividade, entre outras.
Conforto lumínico ou visual	Sensação de prazer, estímulo sensorial, maior satisfação, aumento do desempenho na execução das tarefas.	Dificuldade de foco decorrente da quantidade insuficiente ou excedente de luz, fadiga visual decorrente de níveis de brilho ou contraste excessivo entre os materiais, dores de cabeça, existência de reflexos indesejáveis que interferem na visão, causam desconforto e cansaço e podem causar dores músculo-esqueléticas no pescoço e nas costas, devido a posturas inadequadas adoptadas na tentativa de melhorar a acuidade visual. Pode induzir a sonolência.
Qualidade do ar interior	Conforto, sensação de bem-estar, satisfação, saúde.	Dores de cabeça, tonturas, náuseas, cansaços vespertinos. Sensação de desconforto, reacções alérgicas e asma. Lentidão na execução das tarefas.

Apesar do objectivo da qualidade do ambiente interior consistir na obtenção de um ambiente que proporcione conforto e bem-estar aos ocupantes e que sejam evitadas doenças e efeitos negativos na saúde resultantes da permanência nestes locais, este objectivo não pode ser totalmente conseguido, uma vez que existem variações psico-fisiológicas inerentes ao público-alvo. Assim, a meta será conferir uma qualidade do ambiente interior com que confira as melhores condições de conforto e salubridade para a maioria dos ocupantes (Hanssen, 2002).

O desafio é assegurar que os edifícios proporcionam aos seus ocupantes um ambiente confortável, saudável e seguro e, em simultâneo, reduzir os seus consumos energéticos. Estas condições não significam ausência de riscos, mas antes riscos aceitáveis, nem que todos os ocupantes se sintam confortáveis, já que as condições ambientais necessárias para saúde e conforto não são as mesmas para todos os ocupantes. Existem grandes variações psicológicas e fisiológicas de pessoa para pessoa que tornam difícil assegurar condições de conforto a todos os ocupantes (Hanssen, 2000).

Os ocupantes dos edifícios não atribuem igual peso a cada um dos parâmetros quando avaliam a qualidade do ambiente interior dos espaços que ocupam, havendo tendência a dar maior peso a certos parâmetros em detrimento dos restantes. Isto pode ser resultante não só da dificuldade que têm associá-los a determinados sintomas como também de questões subjectivas.

Estudos feitos por várias universidades, como por exemplo a Kansas State University, chegaram à seguinte distribuição de pesos: conforto acústico, 22%; qualidade do ar, 24%; conforto lumínico, 24%; conforto térmico, 30% (Rohles et al., 1987; Alexandre, 1998).

Algumas das dificuldades em medir a qualidade do ambiente interior podem ser ilustradas pela resposta humana a dois dos principais factores, conforto térmico e qualidade do ar interior, a Tabela 2.5 mostra algumas das diferenças.

Tabela 2.5 - Diferenças entre a resposta humana às condições ambientais (Adaptado de Hanssen, 2002)

Características	Conforto térmico	Qualidade do ar interior
Gama de condições de conforto	Relativamente pequena, valor óptimo identificado	Gama extensa e valor óptimo não identificado
Alertas sensoriais aos ocupantes	Muito acentuados	Menos pronunciada e complexa
Possibilidades de adaptação dos ocupantes	Muitas possibilidades, alteração da quantidade de roupa e do tipo de actividade	Adaptação eficiente aos odores, mas nos restantes aspectos poucas possibilidades

A obtenção de um ambiente interior com qualidade implica a conjugação dos vários parâmetros que o caracterizam. As medidas a tomar para a melhoria de cada parâmetro, devem ser conjugadas com as medidas de optimização dos restantes. O que acontece em muitos casos é que as medidas tomadas para a melhoria de um dos parâmetros conduzem à diminuição do desempenho dos restantes.

Para a melhoria da qualidade do ar interior, é essencial a existência de ventilação para diminuir a concentração de poluentes no interior dos edifícios. No entanto, no caso de se recorrer a ventilação natural no Inverno, tal tem um efeito negativo para o conforto térmico uma vez que as trocas de ar com o exterior conduzem à diminuição da temperatura. Por outro lado, a ventilação, quer natural quer mecânica, pode afectar o conforto acústico. A ventilação natural é feita através de aberturas com o exterior, como por exemplo, através da abertura de janelas, permitindo a entrada de ruído proveniente do exterior. Por outro lado, os sistemas de ventilação mecânicos, cujo funcionamento é ruidoso provocam desconforto acústico aos ocupantes dos edifícios.

Para a obtenção de conforto lumínico, é importante a existência de iluminação natural. Esta é conseguida através de vãos envidraçados nas paredes de fachada. No entanto, esta medida, prejudica o desempenho do edifício ao nível do conforto térmico e acústico. No que diz respeito ao conforto térmico esta medida é negativa essencialmente nas condições de Verão, uma vez que pode conduzir ao sobreaquecimento dos edifícios, caso não se utilizem sistemas de protecção solar adequados. Também para condições de Inverno, as janelas, dado que apresentam menor desempenho térmico (coeficiente de transmissão térmico mais elevado), levam ao aumento das trocas térmicas através das mesmas, diminuindo a temperatura interior e aumentando o desconforto. Relativamente ao conforto acústico, é prejudicado na medida em que os vãos envidraçados são os pontos fracos de uma fachada, devido ao menor índice de redução sonora que os caracterizam.

Desta forma, é importante ponderar os diversos parâmetros de forma a ser obtido um ambiente interior com qualidade.

Para que a qualidade do ambiente interior possa vir a ser efectivamente uma realidade nos edifícios, é fundamental a existência de normalização e regulamentação que permita servir como base à sua efectiva implementação.

As necessidades dos ocupantes são baseadas no que estes necessitam para manter um ambiente saudável nas suas habitações, locais de trabalho, em espaços públicos, escolas, infantários, restaurante, hotéis e cinemas. Um ambiente saudável assegura as necessidades de adultos saudáveis, mas também de grupos mais sensíveis (crianças, idosos e pessoas com hipersensibilidade). No entanto é economicamente impossível garantir um ambiente sem factores de risco e se, por exemplo, se a ventilação for a estratégia seleccionada os consumos energéticos poderiam aumentar de forma significativa. Mas, mesmo assim não existe garantia de que tal assegurasse um ambiente satisfatório. Além disso estudos recentes indicam que um ambiente muito estéril pode causar problemas (Hanssen, 2002).

A minimização e redução dos poluentes são a primeira estratégia, em simultâneo com a manutenção de uma temperatura operativa correcta, de forma a assegurar o bem-estar e a produtividade dos ocupantes. Diferentes analistas, ocupantes, proprietários e técnicos têm análises diferentes, tal como mostra a Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Diferentes análises da Qualidade do Ambiente Interior (Hanssen, 2002)

Categorias	Aspectos relevantes
Indivíduos e famílias Governos	Interesse comum e separado na saúde das pessoas, bem-estar e produtividade. O ambiente interior dever ser tão bom quanto possível de forma a prevenir doenças e desconforto.
Proprietários dos edifícios	Focados primariamente no lucro máximo, tempo de construção reduzido, investimento baixo, gestão óptima das instalações, flexibilidade. Um ambiente interior satisfatório é uma vantagem competitiva, o que torna os investimentos na melhoria da qualidade do ambiente interior mais apelativo.
Projectistas, Arquitectos e Engenheiros	As necessidades dos ocupantes devem ser a base para o projecto e execução do edifício, dos seus sistemas e equipamentos. Na fase inicial da concepção do edifício a selecção das melhores opções tem um impacte significativo no ambiente interior no final. Durante a fase de construção, utilização e reabilitação do edifício as alterações efectuadas devem conduzir a consideração das soluções seleccionadas e à sua optimização, se necessário.

A ventilação é necessária para remover a carga de poluentes produzida pelos materiais do edifício, actividades e ocupantes.

Retirar os elementos poluentes, limitando as perdas térmicas provenientes da renovação do ar, é o objectivo de uma ventilação eficiente. A ventilação deve ser dimensionada tendo em consideração o tipo de edifício e de ocupação (ocupantes, idosos, crianças, grupos de risco, etc.).

A ventilação pode ser de três tipos: ventilação natural; ventilação mecânica; e ventilação híbrida.

Um sistema de ventilação mecânica é simples de operar e, se adequadamente dimensionado, pode ser ajustado às necessidades do edifício, deve ser assegurada a correcta manutenção dos sistemas e equipamentos (filtros, tubagens, sistemas de recuperação de calor, humidificadores, etc.). A forma como o ar é fornecido, por mistura ou deslocamento (displacement ventilation), é de extrema importância, uma vez que se o ar é fornecido de forma incorrecta pode ter uma influência adversa na qualidade do ambiente interior percebida pelos ocupantes.

A ventilação natural pode não ser suficiente em edifícios com um nível de ocupação elevada. Além disso, uma vez que esta é assegurada por diferenças de pressão ou temperatura, o que pode conduzir a taxas de ventilação elevada durante o inverno e insuficiente durante o verão, não havendo forma de controlar o nível de poluentes.

A ventilação híbrida é a combinação de ventilação natural e mecânica, quando a ventilação natural não é suficiente os sistemas de ventilação mecânica são accionados.

O ambiente interior está associado com a ventilação, mas é necessário não esquecer que os materiais utilizados, os ocupantes e as actividades desenvolvidas nos edifícios, outros poluentes (incluindo os gerados no exterior), a temperatura, a humidade relativa, as condições de iluminação e o nível sonoro influenciam também a qualidade do ambiente interior.

A ventilação é essencial para assegurar a qualidade do ar, devendo por isso os sistemas de aquecimento e arrefecimento ser independentes do sistema de ventilação (Hanssen, 2002). Por outro lado é também importante analisar todo o edifício e a sua envolvente, bem como os sistemas (ventilação, aquecimento, arrefecimento e iluminação) e soluções construtivas, uma vez que estas variáveis interagem tornando-se necessário realizar uma análise integrada do projecto (Hanssen, 2002).

A selecção de materiais e sistemas de climatização deve ter-se em consideração não só o seu contributo para a qualidade do ambiente interior, mas também os seus consumos energéticos de produção, utilização e demolição, consumos de materiais e recursos, durante a produção e manutenção e também a poluição que possam originar (emissões para a atmosfera e descargas na água e no solo). Devendo ser dada primazia à selecção de soluções passivas e que utilizem fontes de energia renováveis, pois é mais fácil e eficiente evitar a entrada de radiação no interior do edifício através de sistemas de sombreamento (palas, estores, por exemplo) do que usar sistemas de climatização para reduzir a temperatura ambiente.

Enquanto os sistemas são em geral estudados, outros parâmetros, como os materiais, emissões dos materiais, manutenção e limpeza (de ductos e filtros, por exemplo), etc., não são, em geral, incluídos na análise integrada (Hanssen, 2002). É também necessário estudar a drenagem de condensados dos sistemas de climatização, uma vez que a condensação pode induzir o crescimento de microrganismos.

Os sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação devem ser analisados em conjunto, de modo que as condições de conforto e a qualidade do ar sejam asseguradas independentemente das condições climáticas exteriores (temperatura, humidade relativa, velocidade e direcção do vento), latitude, condições de protecção da envolvente e sombreamento, de acordo com o tipo de actividade e ocupação do compartimento em estudo (Hanssen, 2002), tendo também em consideração os consumos energéticos.

As condições de iluminação são um parâmetro muito importante que pode também afectar o bem-estar e a produtividade dos ocupantes, afectando a percepção da qualidade do ambiente interior e que muitas vezes não são consideradas.

Muitas das queixas de más condições de iluminação são reportadas como problemas associados a má qualidade do ar, uma vez que os sintomas são semelhantes aos da síndrome dos edifícios doentes, mas não podem ser curados com mais ou melhor qualidade do ar (Hanssen, 2002). Por exemplo, dores de cabeça causadas pelas lâmpadas fluorescentes comuns foram documentadas (podendo ser prevenidas usando sistemas emitindo 20 - 25 kHz), as superfícies envolventes e as suas características de reflexão podem também provocar queixas inespecíficas da qualidade do ambiente interior (Hanssen, 2002).

Além da tarefa a desenvolver a idade dos ocupantes é importante para a definição das condições e do nível de iluminação. Podem ser preferível definir dois tipos de sistemas, um para iluminação geral do espaço e um sistema flexível, de iluminação localizada, onde for necessária, com possibilidade de regulação individual dos ocupantes (Hanssen, 2002).

Os sistemas de iluminação, produzem calor, mesmo as lâmpadas economizadoras, podendo o calor, além de aumentar as necessidades de arrefecimento, causar correntes convectivas, o que pode conduzir à queima de poeiras no topo das lâmpadas, o que aumenta a concentração de poluentes no ar (Hanssen, 2002). Por isso os sistemas de iluminação artificial seleccionados devem ser fáceis de limpar, de forma a ser garantida a qualidade do ambiente interior.

Os sistemas de climatização, além dos consumos energéticos, produzem ruído, devido ao funcionamento do sistema e também às vibrações que produz, o que pode ter um impacto negativo na qualidade do ambiente interior.

No condensador, a humidade e o pó que se pode depositar pode propiciar o desenvolvimento de microrganismos, devendo por isso a água condensada ser removida.

Tendo em conta a conjugação de todos estes factores, justifica-se cada vez mais a importância de avaliar a qualidade do ar no interior de edifícios, bem como de relacionar a mesma com as fontes de poluentes, tornando possível implementar medidas que mitiguem o problema.

A relação causa - efeito entre os problemas de qualidade do ar interior e os problemas de saúde dos ocupantes, já referida, e o aparecimento de legislação que abranja a QAI fazem com este assunto esteja cada vez mais na ordem do dia e com que o estudo desta problemática adquira cada vez mais importância.

A nível de normalização e regulamentação referente à qualidade do ambiente interior a norma EN¹⁵²⁵¹ apresenta os parâmetros do ambiente interior que devem ser considerados para a concepção e avaliação do desempenho energético dos edifícios, sendo eles a qualidade do ar interior, o ambiente térmico, o ambiente lumínico e o ambiente acústico (EN 15251, 2007).

De seguida apresentam-se os diferentes parâmetros que afectam a qualidade do ambiente interior e a normalização aplicável a cada um.

2.3.1 Aspectos climáticos do ambiente interior

Os aspectos climáticos do ambiente interior são a temperatura ambiente, superficial e média de radiação, a humidade e a velocidade do ar, estando relacionada com a situação de conforto térmico do indivíduo.

As normas EN ISO⁷⁷²⁶, EN ISO⁷⁷³⁰ e EN¹⁵²⁵¹ permitem caracterizar as condições de conforto térmico dos ocupantes dos edifícios.

A norma EN ISO⁷⁷²⁶ é a linha orientadora para a medição dos parâmetros físicos de ambientes térmicos (moderados e extremos).

A norma EN ISO⁷⁷³⁰ apresenta métodos para definir a sensação térmica geral e o grau de desconforto de pessoas expostas a um ambiente térmico moderado. Isto permite uma determinação analítica e a sua

interpretação através do cálculo do PMV e PPD e critérios de conforto térmico local, dando as condições ambientais consideradas aceitáveis para um conforto térmico geral, assim como, aquelas que representam um stress térmico localizado.

Para fazer face ao elevado peso que o sector dos edifícios representa no consumo energético, 40% na Europa e cerca de 30% em Portugal, foram adoptadas regulamentações que visam promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, nomeadamente surgiu a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta directiva foi transposta para a legislação nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei:

- O Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE),
- O Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE),
- O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

No Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril entre outros aspectos, são definidos requisitos a observar no que se refere à qualidade do ar interior, através do estabelecimento de concentrações máximas admissíveis de poluentes e imposição de valores mínimos de renovação de ar por espaço, em função da sua utilização. Este regulamento aplica-se a edifícios de serviços, sendo apenas aplicado a edifícios de habitação com sistemas com mais de 25 kW.

O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, aplicado a edifícios de habitação com sistemas com potência inferior a 25 kW, define a penas a necessidade de considerar uma taxa de renovação de ar de 0,6 renovações por hora para o cálculo das necessidades energéticas dos edifícios.

2.3.1.1. Conforto térmico

O conforto térmico não é a sensação psicológica de equilíbrio térmico entre o Homem e a envolvente, ou, como refere a norma EN ISO 7730: "um estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente que envolve uma pessoa (nem quente nem frio)" (EN ISO 7730, 2005).

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) apresenta o conforto térmico como um direito de todos os cidadãos, estabelecendo um nível mínimo a atingir em todos os edifícios de habitação, ao qual está associado um determinado consumo de energia, que, também é limitado pelo regulamento.

O conforto térmico é um factor com grande relevância para a saúde e bem-estar das pessoas e, só perante o alcance do mesmo é que consegue atingir o nível de concentração desejado para o desempenho das suas tarefas (Tirone, 2007).

A sensação de conforto térmico depende de (Figura 2.8):

- Temperatura ambiente;
- Radiação das superfícies da envolvente – temperatura média de radiação;
- Velocidade do ar;
- Actividade metabólica;
- Resistência térmica da roupa;
- Humidade relativa.

Os aspectos fisiológicos são também importantes e devem ser considerados, por exemplo a tolerância dos ocupantes a temperaturas altas ou baixas depende da parte do corpo exposta. Na norma ASHRAE 55 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy" estão definidos os limites superiores para a velocidade do ar em edifícios para evitar desconforto devido a correntes de ar (ASHRAE 55, 2004). Estudos realizados na Dinamarca concluíram que os ocupantes são menos sensíveis às correntes de ar do que o definido na ASHRAE 55 (ASHRAE 55, 2004).

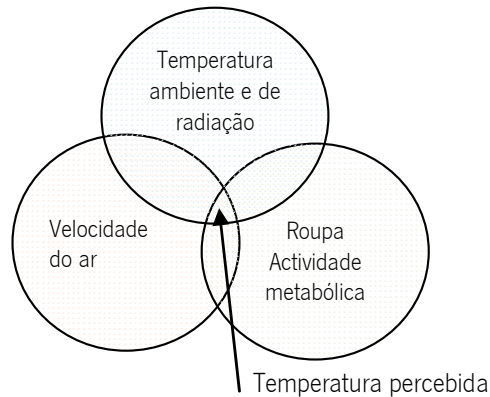


Figura 2.8 – Representação esquemática dos diferentes parâmetros que influenciam a temperatura percebida

O corpo humano é dotado de um mecanismo termo-regulador, que controla as variações térmicas do organismo de modo a criar condições para que o mesmo permaneça praticamente homotérmico (Lamberts, 2002).

As actividades desenvolvidas pelo corpo humano geram calor, havendo necessidade do mesmo ser dissipado para o ambiente, de modo a manter o equilíbrio térmico do corpo ($\cong 36,7^{\circ}\text{C}$). Essa dissipação pode ser conseguida por mecanismos de trocas de calor, através da pele e da respiração. Assim, o principal factor para que ocorra a sensação de conforto térmico é que o somatório das trocas com o meio seja nulo, caso em que todo o calor produzido em excesso seja eliminado, assim como, que o grau de calor perdido seja inferior ao exigido para o estabelecimento do equilíbrio interno (Lamberts, 2002; Krause, 2005).

A neutralidade térmica é a temperatura corporal para a qual o organismo não precisa de activar os seus mecanismos de termo-regulação.

O balanço térmico efectuado pelo corpo humano depende da energia produzida no interior do mesmo (actividade metabólica) e das perdas de calor com o exterior. Por sua vez, a actividade metabólica depende da actividade física realizada. A dissipação de energia é conseguida através de mecanismos de trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Esses mecanismos são a condução, a convecção, a radiação e a evaporação (Figura 2.9) (Lamberts, 2007).

De modo a delimitar zonas de conforto térmico Fanger assumiu que é possível controlar a neutralidade térmica através de aspectos fisiológicos quantificáveis, conseguindo assim deduzir uma equação que representasse o conforto geral, fundamentando-se no modelo estático de transferência de calor. De seguida, recorreu a uma escala fisiológica de 7 termos, que variava entre - 3 (muito frio) a + 3 (muito quente), representando o zero a situação de neutralidade térmica. Baseando-se nesta escala, efectuou numerosos ensaios para estimar os votos de sensação térmica. Através da relação entre a equação do conforto global e os votos obtidos estabeleceu o índice PMV (Predicted Mean Vote), que, a partir das condições ambientais, actividade e tipo de vestuário, permitia obter o valor médio esperado do voto dos indivíduos (Fanger, 1972; Fanger, 1980; Fanger, 1982; Fanger, 1985; Almeida, 2009; Silva, 2006).



Figura 2.9 – Balanço térmico (Lamberts, 2007)

No entanto, e paralelamente a teoria de Fanger, surgem outras que introduzem o conceito de modelo adaptativo. Este teve por base a teoria da adaptação defendida na biologia. A teoria adaptativa refere que a "adaptação é qualquer característica ou comportamento natural evoluído que torna algum organismo capacitado a sobreviver no seu respectivo habitat". Assim, o modelo adaptativo considera que, estando perante uma situação de desconforto, as pessoas reagem de modo a voltar a estabelecer as condições de conforto, ajustando as suas roupas, através da abertura de janelas, etc., permitindo assim, uma zona de conforto substancialmente superior à obtida através do método de Fanger, sendo essa diferença particularmente relevante no caso de edifícios não-climatizados (wikipedia, 2009; Almeida, 2009).

Em alternativa ao modelo adaptativo, pode recorrer-se a correcções do método de Fanger, tendo em linha de conta a possibilidade de adaptação (Silva, 2006).

Condições necessárias para conforto térmico

O simples alcance da neutralidade térmica pelo corpo humano não é suficiente para que o mesmo se encontre em condições de conforto térmico, porque pode haver o risco de este ser afectado pelo fenómeno de desconforto localizado, podendo ocorrer de diversas formas: assimetria de radiação, corrente de ar e piso frio ou quente. Na Figura 2.10 representam-se algumas situações de desconforto localizado. (Lamberts, 2002)

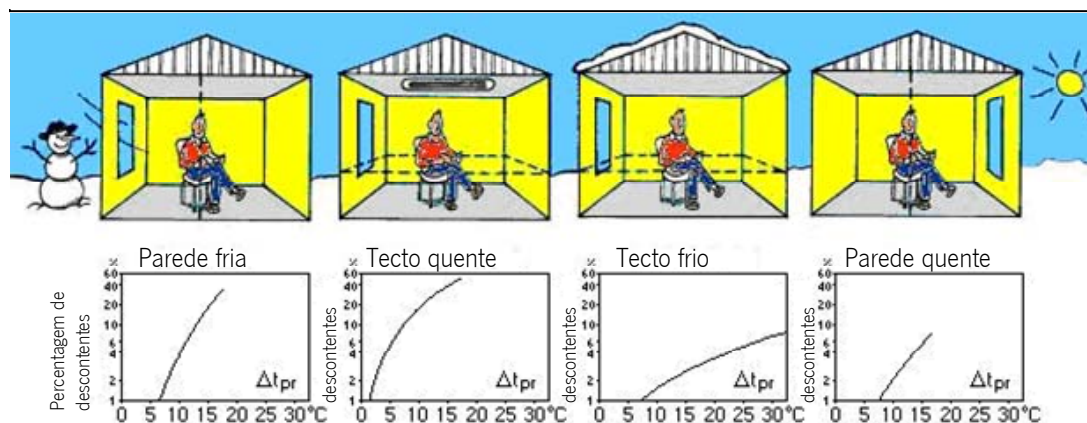


Figura 2.10 – Desconforto localizado (Lamberts, 2002)

Uma terceira condição a verificar para que o indivíduo atinja a neutralidade e se possa considerar efectivamente em conforto térmico é que a temperatura da sua pele e a taxa de secreção de suor se encontrem dentro dos limites compatíveis com a sua actividade (Lamberts, 2002). Na Figura 2.11 e na Figura 2.12, são representados os factores que contribuem para o conforto térmico.

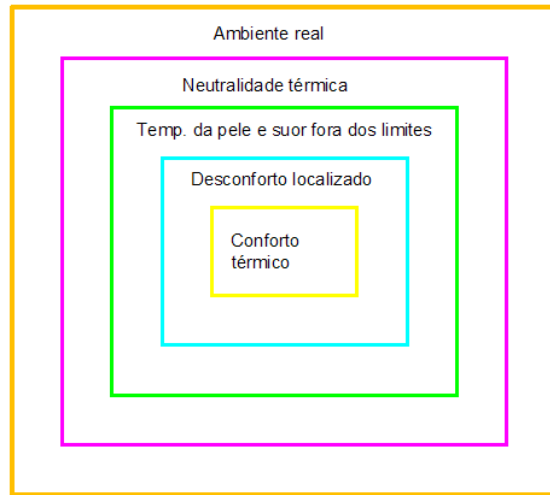


Figura 2.11 – Factores que contribuem para o conforto térmico (Adaptado de: Lamberts, 2002)

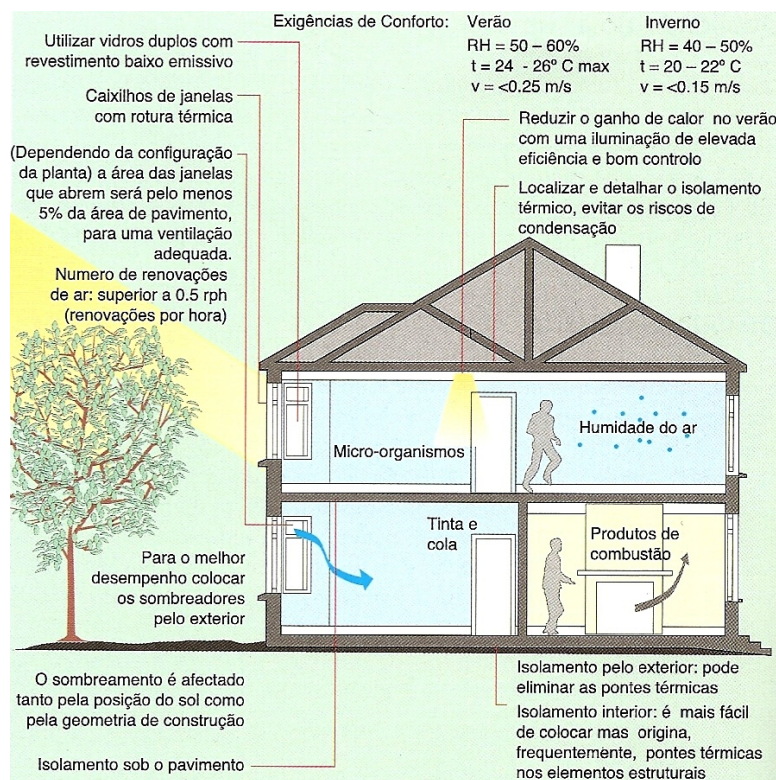


Figura 2.12 – Medidas para melhorar as condições para obtenção de conforto térmico e de qualidade do ar no interior das habitações (Green Vitruvius, 2001)

No que diz respeito às variáveis que contribuem para o conforto térmico, estas podem ser divididas em variáveis ambientais e humanas. A Tabela 2.7 apresenta os parâmetros que correspondem a cada uma das variáveis referidas.

Para caracterizar a situação de conforto de um indivíduo é necessário conhecer um conjunto de variáveis ambientais (ASHRAE°55, 2003, EN ISO°7726, 1998; EN ISO°7730, 2005), das quais se destacam a temperatura ambiente, temperatura média de radiação, humidade relativa e velocidade do ar.

A temperatura e a humidade são os aspectos mais importantes das condições climáticas interiores. Estes parâmetros determinam em grande medida as condições de conforto térmico, devido ao impacto que têm em vários dos mecanismos de termo-regulação do corpo humano.

A humidade relativa deve ser controlada, não só por questões de conforto, mas também para prevenir a ocorrência de condensações e o aparecimento de fungos, bolores.

Tabela 2.7 - Principais variáveis independentes envolvidas no balanço térmico entre o homem e o ambiente

	Variáveis independentes							
	Temperatura do ar (T_a)	Temperatura média de radiação (T_r)	Velocidade do ar (V_a)	Humidade absoluta (p_a)	Isolamento da roupa (I_r)	Resistência à evaporação da roupa ($R_{e,r}$)	Metabolismo (M)	Trabalho externo (W)
Produção de calor pelo organismo (M-W)	V						X	X
Transferência por radiação (R)		X			X			
Transferência por convecção (C)	X		X		X			
Evaporação da pele (E)			X	X		x		
Evaporação pela respiração (E_{res})				X			X	
Convecção pela respiração (C_{res})	X						X	

A *Temperatura do ar* corresponde à temperatura que envolve o corpo humano. A medição da temperatura do ar é importante para efectuar a análise das trocas de calor por convecção sobre o mesmo.

A *Temperatura média de radiação* é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário à qual corresponde uma transferência de calor por radiação do corpo humano igual à transferência de calor por radiação num ambiente não uniforme (Figura 2.13).

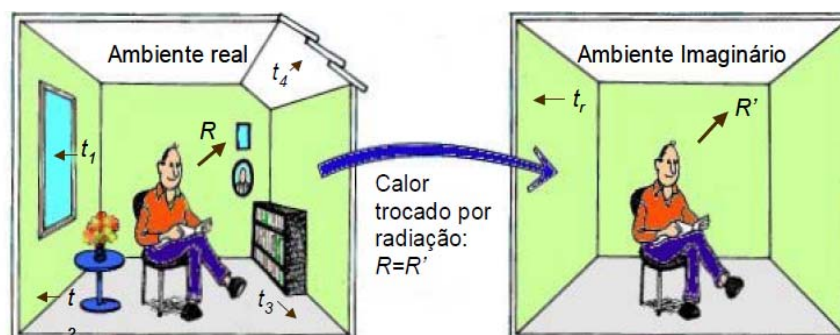


Figura 2.13 – Temperatura média radiante (Fonte: Lamberts, 2007)

A temperatura média de radiação, tal como a temperatura ambiente e a humidade relativa, é de extrema importância para o conforto térmico dos ocupantes. O grau de trocas de calor, por radiação, entre o indivíduo e o ambiente (superfícies) que o rodeia depende de:

- Disposição geométrica das superfícies;
- Características das superfícies opacas (paredes, pavimento e cobertura / tecto):
 - cor e rugosidade da superfície (emissividade);
 - temperatura da superfície;
- Características das superfícies envidraçadas:
 - transmissividade;
 - temperatura da superfície e características dos elementos no exterior do envidraçado (por exemplo sol ou céu nocturno);
- Corpo humano;
 - área da superfície exposta;
 - cor e textura da roupa;

As trocas de calor por radiação podem ser muito significativas em locais onde os ocupantes estão rodeados por superfícies que se encontram a temperaturas diferentes da temperatura ambiente, como por exemplo em edifícios com grandes áreas de envidraçados.

Em geral a temperatura resultante (ou temperatura operativa), que combina a temperatura média de radiação com a temperatura ambiente, é utilizada na normalização internacional (por exemplo a norma ASHRAE 55-2004) para caracterizar as condições de conforto dos ocupantes.

Edifícios com tectos e pavimentos pesados a temperatura média de radiação mais baixa do que edifícios com elementos leves, devido à menor capacidade de armazenamento térmico destes elementos, o que conduz a menores temperaturas resultantes de verão, para a mesma temperatura ambiente, resultando num ambiente termicamente mais confortável (University of Strathclyde, Unit 6, 2008).

A temperatura média de radiação permite estudar as trocas por radiação entre o Homem e o ambiente circundante. Isto pressupõe que os efeitos que o ambiente circundante provoca no Homem, que são geralmente heterogéneos, sejam idênticos a um ambiente virtual homogéneo. Caso contrário fala-se em temperatura radiante plana, uma vez que se trata de uma situação de assimetria radiante.

A determinação da temperatura média de radiação pode ser efectuada através da utilização de um termómetro de bolbo negro. Este permite a determinação de um valor aproximado da temperatura média de radiação através da temperatura do bolbo e da temperatura e velocidade do ar à volta do mesmo.

A *Temperatura superficial* e a temperatura de uma determinada superfície. Aplica-se para o estudo das trocas por radiação entre o corpo humano e essa mesma superfície, através de temperatura radiante média e/ou temperatura radiante plana. Permite também o efeito de contacto directo entre o corpo humano e essa superfície.

A *Humidade absoluta* é quantidade real de vapor de água contido no ar. É considerada para analisar as trocas de calor por evaporação do corpo humano. Uma humidade elevada diminui a evaporação do suor, conduzindo a um aumento do stress térmico. Esta influencia a perda de calor por evaporação da pessoa, actuando no conforto térmico geral (balanço térmico). A temperaturas moderadas (< 26°C) e actividades com níveis moderados (< 2 met) essa interferência é bastante limitada. Para níveis de temperatura e

actividades mais elevadas, é maior, assim como, sob condições de curta duração a humidade também pode ter uma influência significativa.

A *Velocidade do ar* é um parâmetro importante na análise das trocas de calor por convecção e evaporação, actuando no conforto térmico geral (perda de calor) e o desconforto térmico local devido à corrente de ar.

A temperatura de conforto é muito dependente da velocidade do ar, em especial se a resistência térmica da roupa for baixa (roupa leve). O movimento do ar afecta as perdas de calor por convecção e evaporação, que são formas importantes do organismo perder calor para o ambiente que o rodeia.

Não há um valor mínimo de velocidade de ar que é necessário para o conforto térmico. Contudo, o aumento de velocidade pode ser usado para compensar a sensação de calor causada por um aumento de temperatura. Os benefícios ganhos com o aumento de velocidade dependem da roupa, da actividade e da diferença de temperatura entre a superfície da roupa/pele e temperatura do ar.

Se a velocidade do ar for muito elevada (velocidade superior a 0,2 m/s) pode causar desconforto devido a correntes de ar, em especial se temperatura do ar for muito diferente da temperatura de conforto (University of Strathclyde, Unit 6, 2008).

Além das variáveis ambientais é também necessário conhecer as variáveis humanas para caracterizar a situação de conforto dos ocupantes dos edifícios, tais como a actividade metabólica e a resistência térmica da roupa (EN ISO⁷⁷²⁶, 1998; EN ISO⁷⁷³⁰, 2005).

A taxa metabólica assim como o isolamento térmico das roupas podem ser estimados com base em tabelas fornecidas pela norma EN ISO⁷⁷²⁶ (EN ISO⁷⁷²⁶, 1998).

Conforto térmico global

Para a determinação do conforto térmico global, é necessário definir conhecer os valores de isolamento térmico e de metabolismo. No que diz respeito ao metabolismo, para edifícios residenciais, em espaços de estar, a norma EN¹⁵²⁵¹ sugere o valor de 1,2 met. Relativamente ao isolamento térmico das roupas, sugere dois valores, 1,0 clo e 0,5 clo, o primeiro para as condições de Inverno e o segundo para as condições de Verão.

Tanto a norma EN ISO⁷⁷³⁰, como a norma EN¹⁵²⁵¹ apresentam o índice PMV, Voto Médio Previsto (acrónimo da designação em inglês: Predicted Mean Vote) como uma via para a caracterização global do conforto térmico. Este corresponde ao valor médio de votos de um grande número de pessoas segundo uma escala de sensações térmicas de 7 pontos (Tabela 2.8).

A determinação do PMV pode ser feita através das seguintes formas:

- Usando um programa de cálculo fornecido pela norma, onde são introduzidas as seguintes variáveis: roupa (considerando o efeito dinâmico); taxa metabólica; trabalho externo; temperatura do ar; temperatura média radiante; velocidade relativa do ar; humidade relativa; pressão parcial de vapor de água.
- Através de tabelas, onde os valores de PMV são dados para diferentes combinações de actividade, roupa, temperatura operativa e velocidade relativa;
- Medindo directamente através de um sensor.

O PMV pode ser usado para verificar se um determinado ambiente térmico cumpre os critérios de conforto e estabelecer requisitos para os diferentes níveis de aceitação.

Tabela 2.8 - Escala de sensações térmicas de 7 pontos

PMV	Sensação térmica
+ 3	Muito quente
+ 2	Quente
+ 1	Ligeiramente quente
0	Neutro
- 1	Ligeiramente frio
- 2	Frio
- 3	Muito Frio

Quando se define $PMV=0$, são estabelecidas as melhores combinações de actividade, roupa e parâmetros ambientais que conduzam a uma sensação térmica neutra.

O índice PPD, Percentagem de Pessoas Descontentes (do inglês Percentage of People Dissatisfied) estabelece uma estimativa de pessoas insatisfeitas termicamente. Baseia-se na percentagem de um grande grupo de pessoas que voltariam quente, frio, muito quente ou muito frio na escala de sensações térmicas de 7 pontos. As restantes pessoas do grupo sentem que o ambiente está termicamente neutro, ligeiramente frio ou ligeiramente quente.

O PPD pode ser obtido através de um gráfico fornecido pela norma ou através da Equação (2.1). Na Figura 2.14 está representada de forma gráfica da relação entre os índices PMV e PPD.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2)} \quad \text{Equação (2.1)}$$

Em alternativa ao método de Fanger, a pré-norma EN^o15251 refere que a temperatura limites só se aplicam quando as condições térmicas dos espaços em causa são conseguidas essencialmente pelos ocupantes através da abertura e fecho de janelas. A norma sugere a aplicação de equações, aplicáveis a edifícios de escritório e outros com ocupação similar, em que os ocupantes têm uma actividade essencialmente sedentária com um taxa de metabolismo entre situada no intervalo entre 1,0 met a 1,3 met, que tenham fácil acesso à abertura de janelas e liberdade de adaptar as suas roupas às condições interiores, e que permitem determinar a gama de valores de temperatura aceitáveis para cada categoria. Apesar de terem sido concebidos para edifícios de escritório, as temperaturas limite podem ser aplicadas a outro tipo de edifícios nomeadamente residenciais.

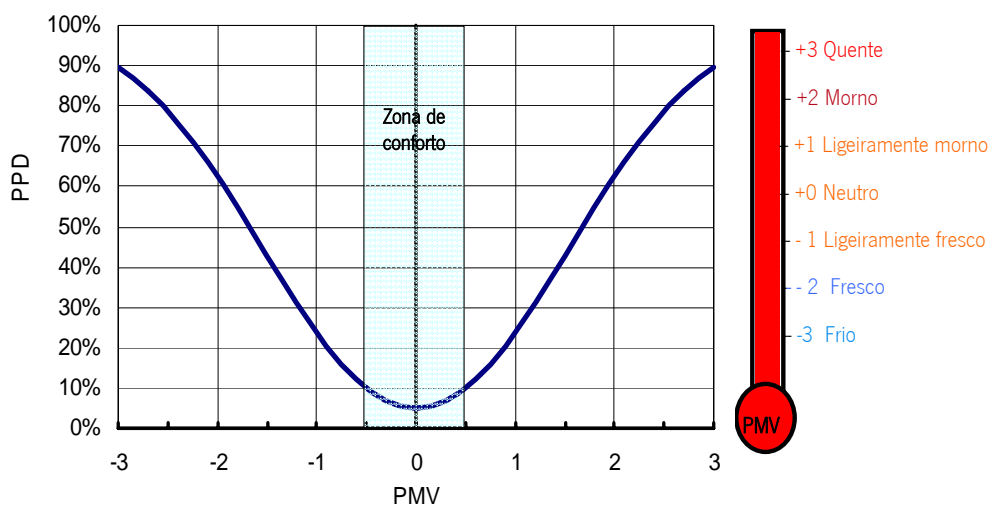


Figura 2.14 - Relação entre PMV e PPD

A norma ASHRAE 55 define duas zonas de conforto, uma para o Inverno e outra para o Verão (Figura 2.15) em função da temperatura resultante, da humidade relativa, da actividade metabólica desenvolvida e da resistência térmica da roupa.

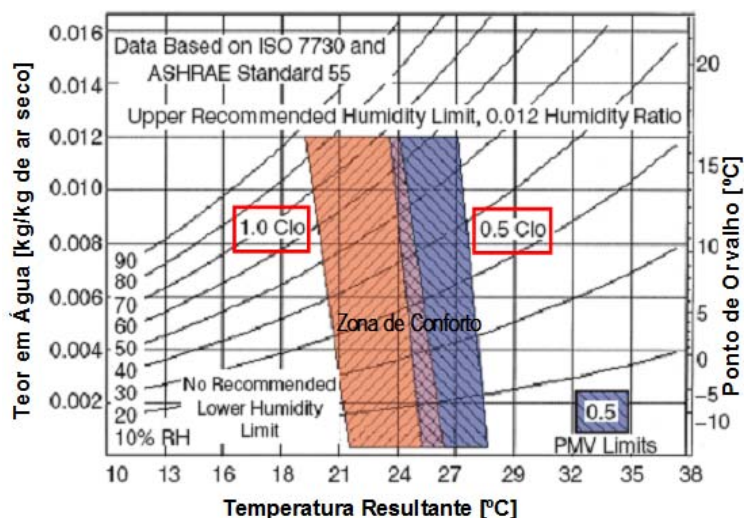


Figura 2.15 – Zonas de conforto de Inverno e de Verão de acordo com a ASHRAE 55 (Adaptado de ASHRAE 55, 2004)

Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios define como temperaturas de referência para a existência de condições de conforto: 20°C para condições de Inverno e 25°C para condições de Verão.

Apesar deste regulamento apenas definir com humidade relativa de referência para condições de Verão de 50%, de forma à humidade relativa não ter influência no conforto térmico é aconselhável que esta se situe numa gama entre 30% e 70%. Esta limitação da humidade relativa, também é desejável de forma a evitar o aparecimento de bolores e condensações nos edifícios.

2.3.2 Aspectos Não Climáticos da Qualidade do Ambiente Interior

Os aspectos não climáticos da qualidade ambiente interior estão relacionados com o conforto acústico, com o conforto lumínico e com a qualidade do ar interior.

2.3.2.1. Conforto acústico

O conforto acústico no interior dos edifícios diz respeito à obtenção de níveis sonoros compatíveis com as actividades desenvolvidas de modo a não ter efeitos negativos na saúde e bem-estar dos ocupantes.

Os níveis sonoros não poderão ser obtidos recorrendo a conceitos puramente físicos uma vez que não representam correctamente a percepção do ouvido humano. Dentro da gama audível (Figura 2.16), a sensibilidade do ouvido humano varia com a frequência, pelo que é necessário recorrer ao conceito de intensidade audível, ou seja, a sensação com que o auditor avalia a intensidade física do estímulo sonoro. Desta forma, torna-se necessário corrigir os valores físicos medidos. Tal é conseguido através da

colocação de filtros nos sonómetros, sendo o filtro correspondente à curva isofónica A, o que melhor representa a sensação do ouvido humano para níveis de pressão sonora reduzidos (Almeida, 2009).



Figura 2.16 – Gama audível (Fonte: www.infoescola.com)

Estudos efectuados nos últimos 20 anos têm concluído que existem distúrbios de sono e saúde geral nas pessoas devidos directa ou indirectamente ao ruído, derivados do stress e perturbações do ritmo biológico. Normalmente, o ruído a partir dos 50 dB(A) é perturbador mas adaptável sendo que a partir dos 55 dB provoca stress leve, levando a desconforto e, por último, a situação de stress degradativo do organismo inicia-se nos 65 dB(A), incrementando o risco de enfarte, derrame cerebral, infecções, osteoporose, etc. (Souza, 2009)

As fontes de desconforto acústico podem ser: fontes externas (ex: ruído de tráfego); fontes internas (ruídos fortes ou perturbações provocados por actividades no interior do edifício); estrutura e acabamentos (ruído de impacto em superfícies sólidas) e; instalações especiais (ex: ruído provocado pela ventilação mecânica) (Green Vitruvius, 2001).

Para que o nível sonoro obtido no interior dos edifícios confira condições de conforto acústico é importante que elementos da envolvente do mesmo permitam uma redução suficiente do ruído proveniente do exterior. Pode dizer-se que o conforto acústico depende dos próprios ocupantes, do equipamento existente no edifício, dos materiais que constituem o edifício, da concepção do edifício e ainda do ruído exterior.

Na concepção dos edifícios, existem essencialmente dois momentos que são cruciais para o comportamento acústico dos edifícios: o primeiro, numa escala de planeamento, quando se decide acerca da localização e orientação do edifício e, o segundo, à escala do edifício, quando se definem as soluções construtivas da envolvente do edifício.

Ao nível do planeamento, podem ser referidas medidas como, a orientação dos edifícios, havendo possibilidade, para espaços com nível de ruído menos intenso, e, a existência de texturas na envolvente do edifício, como é o caso da vegetação.

À escala do edifício (Figura 2.17) existem medidas como a utilização de paredes de elevada massa, a utilização de vidros duplos com diferente espessura, e elevado índice de redução de ruído, a utilização de pavimentos flutuantes, a utilização de materiais absorventes acústicos e utilização de equipamentos com reduzida emissão de ruído.

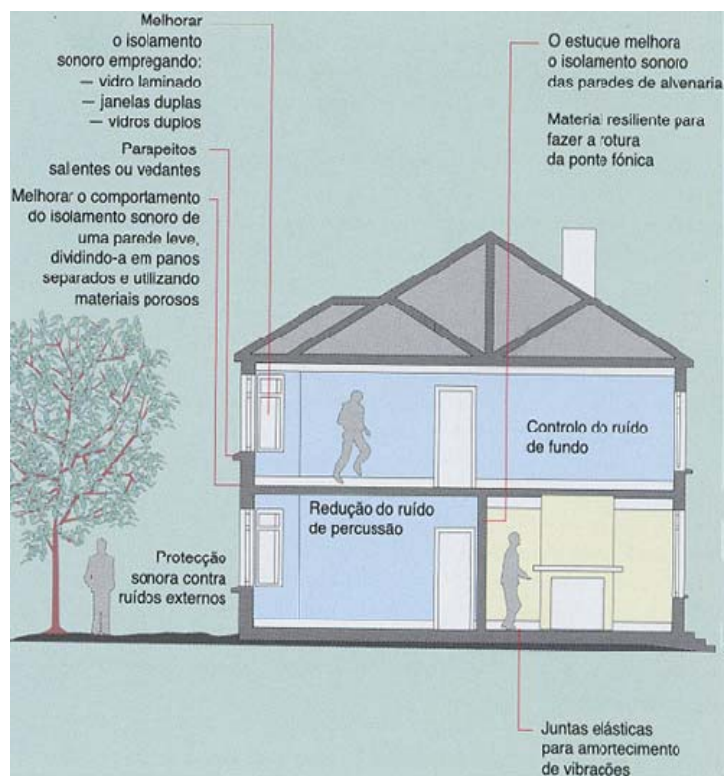


Figura 2.17 – Medidas correctivas dos acabamentos e estrutura para obtenção de conforto acústico no interior das habitações (Green Vitruvius, 2001)

A norma EN^o15251 estabelece intervalos de níveis de pressão sonora para diferentes tipos de edifícios e em função do tipo de ocupação para que existam condições de conforto acústico (EN^o15251, 2007). Esta norma visa a avaliação de uma forma simplificada, da qualidade do ambiente acústico, no interior dos edifícios existentes.

Na Tabela 2.9 apresentam-se os níveis de pressão sonora para edifícios residenciais recomendados pela norma EN^o15251.

Tabela 2.9 - Gama de níveis de pressão sonora recomendados pela EN^o15251

Edifício	Tipo de espaço	Nível de pressão sonora (dB(A))
Residencial	Zona de estar	25 a 40
	Quarto	20 a 35

A norma NP^o1730 indica as regras para a realização de ensaios acústicos para a avaliação do nível de pressão sonora (NP^o1730, 1996).

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) aplica-se, entre outros a edifícios habitacionais e mistos e a unidades hoteleiras e estabelece, no Artigo 5^o, os requisitos acústicos dos edifícios, com vista a melhorar as suas condições de qualidade acústica (Decreto-Lei n.º 96/2008).

Para os edifícios habitacionais o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) define o isolamento sonoro que os elementos construtivos da envolvente devem respeitar, em relação aos sons de condução aérea e aos sons de percussão.

O *Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado*, $D_{2m,nT}$, é a diferença entre o nível médio da pressão sonora exterior, medido a 2 metros da fachada do edifício, e o nível médio da pressão sonora medido no local de recepção, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor.

O *Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado*, D_{nT} , é a diferença entre o nível médio da pressão sonora medido no recinto emissor e o nível médio da pressão sonora medido no local de recepção, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor.

O *Nível sonoro de percussão padronizado*, L'_{nT} , é o nível sonoro médio medido no compartimento receptor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor.

O *Nível de avaliação padronizado*, $L_{a,nT}$, é o nível sonoro equivalente, ponderado A, durante o intervalo de tempo T, adicionado das correções das características tonais do ruído, K, e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor.

Este regulamento remete para o Anexo I do Regulamento Geral do Ruído (RGR) a determinação das componentes tonais do nível de avaliação.

Na Tabela 2.10 apresentam-se os requisitos acústicos para edifícios habitacionais e mistos segundo o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE, 2008).

Tabela 2.10 - Requisitos acústicos para edifícios habitacionais e mistos segundo o RRAE (RRAE, 2008)

Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado	
$D_{2m, nT, W}$	
Emissor: Exterior dos edifícios	
Receptores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Zona	Requisito
Sensível	≥ 28 dB
Mista	≥ 33 dB
$D_{nT, W}$	
Receptores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Local emissor	Requisitos
Compartimentos de um fogo	≥ 50 dB
Locais de circulação comum do edifício	≥ 48 dB
Garagem de estacionamento automóvel	≥ 50 dB
Caminho de circulação vertical (edifício com elevadores)	≥ 40 dB
Receptores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Local emissor	Requisitos
Locais dos edifícios destinados a comércio, indústrias, serviços ou diversão	≥ 58 dB
Índice de isolamento sonoro a sons percussão padronizado	
$L'_{nT, W}$	
Receptores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Local emissor	Requisitos
Outros fogos ou locais de circulação comum do edifício	≤ 60 dB
Locais dos edifícios destinados a comércio, indústria e serviços ou diversão	≤ 50 dB
Nível de avaliação padronizado	
$L_{A, nT}$	
Emissores: Equipamentos colectivos do edifício (ascensores, grupos hidropressores, sistemas de climatização e ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação de corrente eléctrica e instalações de escoamento de águas)	
Receptores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Particularidades	Requisitos
Funcionamento do equipamento intermitente	≤ 32 dB(A)
Funcionamento do equipamento contínuo	≤ 27 dB(A)
Grupo gerador eléctrico de emergência	≤ 40 dB(A)

2.3.2.2. Conforto lumínico

Os edifícios devem proporcionar aos seus ocupantes níveis de iluminação suficientes para o fim a que os mesmos se destinam, de modo a que executem as suas tarefas de forma confortável.

A iluminação deve permitir uma visão nítida dos objectos, para possibilitar ao Homem o exercício da sua actividade do modo mais eficaz possível, sem que tal implique a ocorrência de fadiga visual (Krause, 2005). Os requisitos de iluminação são determinados para a satisfação de três necessidades básicas: conforto visual, prestações visuais e segurança (EN°12464, 2002).

A cada tarefa visual e respectivo detalhe, assim como à envolvente da mesma, corresponde um nível de iluminação adequado, não interessando apenas a tarefa visual em si, mas também a sua envolvente uma vez que esta também é perceptível pelo ocupante na realização da sua tarefa, interferindo na concentração visual (Krause, 2005).

O conforto visual é o principal determinante nas necessidades de iluminação no interior dos edifícios. A obtenção de um ambiente luminoso interior confortável depende essencialmente da quantidade, da distribuição e da qualidade da luz nesse espaço.

Na Figura 2.18 apresentam-se algumas medidas que visam a obtenção de condições de conforto lumínico nos edifícios.

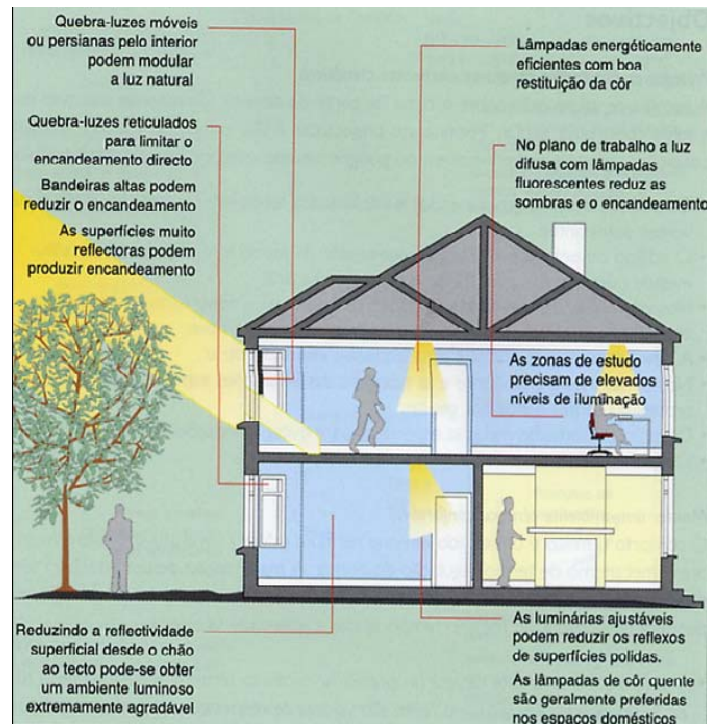


Figura 2.18 – Medidas para a obtenção de condições de conforto lumínico (Green Vitruvius, 2001)

A distribuição da luz num determinado espaço deve ser tal que diferenças excessivas em luz e sombra sejam evitadas pois podem causar perturbações no desempenho visual dos ocupantes. Também os vãos envidraçados e os dispositivos de iluminação artificial devem ser localizados de modo a que o encandeamento seja minimizado. Deve ainda ser prestada particular atenção à qualidade da luz pois tanto a sua composição espectral como a sua constância temporal e espacial devem ser adequadas às tarefas visuais.

A luz natural emitida pelo sol, com o seu largo espectro de radiação, é sem dúvida o melhor tipo de iluminação, uma vez que é psicologicamente mais atraente, permitindo quebrar a monotonia, através das suas mudanças ao longo do dia e, ainda, não implica consumos energéticos. Permite também que desfrute das vistas para o exterior, tornando o espaço menos mais agradável (Krause, 2005; Tirone, 2007).

As áreas envidraçadas devem ser concebidas de modo a contribuírem para a optimização do comportamento energético dos edifícios, devendo existir uma proporção adequada de envidraçado relativamente á orientação. Há, também necessidade de conceber um sistema de sombreamento que possa ser accionado pelos próprios habitantes, de modo a proteger os mesmos da radiação solar indesejada que atingem os mesmos em dias de céu limpo.

A captação de luz natural é dependente de inúmeros factores nomeadamente do local de implantação, das aberturas e da orientação das mesmas, do clima e da época do ano.

A iluminação natural existente no interior dos edifícios depende das condições de nebulosidade, do período do dia e do ano, das características geométricas do edifício e dos compartimentos, das dimensões e características dos envidraçados, das obstruções exteriores e também das características dos materiais superficiais existentes no interior dos compartimentos (Santos, 2009).

Podem-se classificar os envidraçados em função da razão envidraçado parede, REP (Window to wall ratio, WWR, em inglês). A razão envidraçado parede é dada pelo cociente entre a área transparente do envidraçado (em geral 80% da área total do vão) e a área bruta da parede onde está inserido (Comprimento X pé-direito) (IESNA, 1999).

Em função da razão envidraçado parede, REP os envidraçados podem ser considerados (IESNA, 1999):

- pequenos, se $REP \leq 0,20$ (20%);
- médios, se $0,20 < REP \leq 0,40$ (40%);
- grandes, se $REP > 0,40$ (40%).

A área de envidraçado é, para o cálculo deste rácio, considerada como sendo a área envidraçada, ou seja é dada pela área do vão excluindo a caixilharia, podendo ser obtida através da multiplicação da área do vão pela fracção envidraçada para os diferentes tipos de caixilharia definidos no RCCTE (RCCTE, 2006).

De acordo com as recomendações da ASHRAE e da IESNA (Illuminating Engineering Society of North América) a razão envidraçado parede não deve ultrapassar os 30% (para envidraçados com vidro duplo e caixilharia com corte térmico). Este rácio pode ser aumentado, até cerca de 40%, se a qualidade térmica do envidraçado for melhorada.

Mas não é apenas o tamanho do envidraçado que assegura a quantidade e a qualidade de luz natural, as dimensões do compartimento, em especial o pé-direito e a profundidade do compartimento, a orientação da fachada, o sistema de sombreamento, o tipo de vidro e de caixilho (os caixilhos de madeira reduzem a entrada de luz pelo vão entre 30% a 35% e os caixilhos metálicos entre 17 % a 25%), as cores, revestimentos interiores e layout interno e as obstruções exteriores (naturais ou construídas) afectam as potencialidades dos envidraçados (IESNA, 1999).

O potencial de economia de energia pode ser considerado através do factor de equilíbrio do envidraçado, FE, dado pelo produto da razão envidraçado parede pela transmitância e pelo factor de obstrução respectivo. Se o factor de equilíbrio for maior ou igual a 0,25 a iluminação natural tem potencial para economia de energia significativa. Se o valor do factor de equilíbrio for inferior a este valor deve-se reduzir as obstruções, aumentar a área do envidraçado ou a sua transmitância luminosa (IESNA, 1999).

Para otimizar a economia de energia através da iluminação natural e dos ganhos solares (IESNA, 1999):

- A luz deve alcançar os espaços interiores (localização e dimensões dos vãos envidraçados);
- A incidência do sol deve ser minimizada ou evitada durante o Verão (orientar os vãos a Norte e Sul e evitar a orientação Este e Oeste, seleccionar os sistemas de sombreamento, de preferência móveis e orientáveis, de forma a possibilitar a entrada de luz e evitar a entrada de radiação solar de Verão);
- O ofuscamento deve ser evitado ou minimizado (utilização de cores claras e acabamentos opacos ou acetinados ao invés de brilhantes);

- A iluminação artificial deve ter em consideração a distribuição da iluminação natural (controle diferenciado em função da localização dos pontos de luz e utilização de “dimmers”);
- Realizar a manutenção dos sistemas de iluminação artificial.

A contribuição da iluminação natural pode ser negativa se os três primeiros pontos forem ignorados e se qualquer um dos cinco pontos não for considerado a economia de energia será reduzida (IESNA, 1999).

O conforto visual, entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver as suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à visão e com reduzidos riscos de acidentes, é um dos elementos determinantes para as necessidades de iluminação de um edifício (Lamberts, 1997).

Os ambientes construídos (internos e externos) são iluminados para permitir o desenvolvimento de tarefas visuais (leitura, visão, execução, consertos, etc.) (Lamberts, 1997).

A iluminação adequada deve ter direcção adequada e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de encadeamento.

A consideração dos aspectos fundamentais a respeito da iluminação de ambientes a nível de projecto é a medida mais efectiva no controle das qualidades visuais destes ambientes.

Um bom projecto de iluminação requer que seja dada igual atenção à quantidade de luz disponível bem como à sua qualidade.

As condições, que conduzem à existência de conforto visual, estão relacionadas com os requisitos necessários para a ocorrência tranquila do processo visual, podendo ser classificadas do seguinte modo (Lamberts, 1997):

- iluminância suficiente;
- boa distribuição de iluminâncias;
- ausência de ofuscamento e encadeamento;
- contrastes adequados (proporção de iluminâncias); e
- bom padrão e direcção de sombras.

É, no entanto, necessário salientar que a boa distribuição de iluminâncias não é sinónimo de uniformidade e que o contraste e padrão de sombras dependem da tarefa visual (Lamberts, 1997).

O correcto aproveitamento da iluminação natural nos edifícios pode, ao substituir a iluminação artificial, contribuir para (Santos, 2005):

- a eficiência energética (Figura 2.19);
- o conforto visual; e
- o bem-estar dos ocupantes.

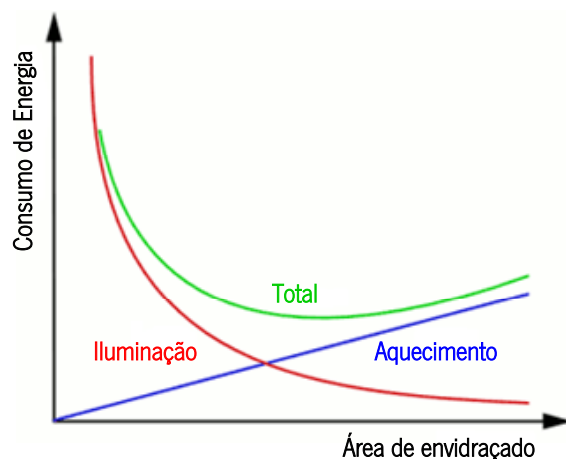


Figura 2.19 – Consumos energéticos dos edifícios em função da área de envidraçados

As principais vantagens da iluminação natural são (Lamberts, 1997; Santos, 2001; Santos, 2005):

- o facto de utilizar uma fonte de energia renovável e gratuita;
- a qualidade da luz solar ser dinâmica (mudando ao longo do dia e do ano), estando a visão humana desenvolvida de modo a adaptar-se de forma natural a estas mudanças;
- o grande potencial de iluminação, sem necessidade de energia eléctrica auxiliar, em edifícios de utilização diurna (escolas, edifícios comerciais, de serviços e industriais) que 60% a 90% do total de horas de luz natural disponíveis por dia têm;
- a capacidade que um bom projecto de iluminação tem de cumprir o requisitos de iluminação de pontos localizados no interior dos compartimentos;
- a quantidade de luz disponível que alcança altos níveis de iluminância, maiores do que os praticáveis com luz eléctrica, durante as horas do dia, para uma considerável parte do ano;
- a sustentabilidade económica;
- a eficácia luminosa da luz natural;
- promover a satisfação das necessidades biológicas e psicológicas dos ritmos naturais, através da ligação com o ambiente exterior, das radiações externas e as condições do céu; e
- ter uma eficácia luminosa melhor do que qualquer fonte de iluminação artificial (e-News Issue 57, 2006).

O facto de utilizar uma fonte de energia renovável e gratuita, a luz solar, não significa que a utilização da iluminação natural seja gratuita, pois existem custos associados ao aproveitamento da luz natural, que dependem do sistema de fenestração utilizado, das dimensões e configuração dos edifícios e da existência de eventuais obstruções exteriores e/ou interiores à luz natural (Santos, 2005).

É ainda necessário garantir um adequado ambiente luminoso interior, livre de desconforto devido a factores como o encadeamento, o sobreaquecimento (em períodos quentes), ou arrefecimento excessivo (durante os períodos frios) que podem ocorrer devido a um incorrecto projecto dos vãos envidraçados (Santos, 2005).

As estratégias de aproveitamento da iluminação natural devem, então, incluir (Santos, 2005):

- o potencial de ganhos térmicos e sua conservação;
- a economia de energia ao substituir a iluminação artificial;

- os benefícios mais subjectivos decorrentes da utilização da luz natural em vez da luz artificial e do usufruto da visão para o exterior por parte dos ocupantes.

Num edifício as funções básicas da iluminação natural são a iluminação ambiente e a iluminação das tarefas visuais, sendo que os requisitos quantitativos e qualitativos para cada uma destas funções podem ser bastante diversos, em função dos espaços a iluminar e o tipo de tarefas visuais a realizar (Santos, 2005).

A iluminação ambiente deve proporcionar um ambiente luminoso interior confortável e adequado à realização de tarefas visuais pouco exigentes, como sejam a orientação, a deslocação, a observação e outras tarefas visuais limitadas no tempo e de baixa exigência visual (Santos, 2005).

A iluminação das tarefas visuais consiste em proporcionar as mais adequadas condições de iluminação no desempenho de tarefas visuais, com exigências elevadas em que a visão é particularmente solicitada (Santos, 2005).

Deste modo, no projecto de iluminação natural devem ser tidos em consideração vários aspectos específicos tendo em vista o sucesso das estratégias adoptadas (Santos, 2005):

- a quantidade de luz necessária no desempenho das tarefas visuais;
- o conforto visual na realização dessas tarefas;
- a avaliação dos impactes energéticos decorrentes do aproveitamento da luz natural; e
- os aspectos subjectivos e psicológicos associados ao ambiente que rodeia os ocupantes.

As principais funções da iluminação natural são a:

- 1) Iluminação ambiente - Deverá proporcionar um ambiente luminoso interior confortável e adequado à realização de tarefas visuais pouco exigentes.
- 2) Iluminação das tarefas visuais - Consiste em proporcionar as mais adequadas condições de iluminação no desempenho de tarefas visuais, com exigências elevadas em que a visão é particularmente solicitada.

É assim importante avaliar a qualidade e também a quantidade de iluminação.

A iluminação natural que entra no edifício provém da radiação solar, mas foi modificada de diversas formas, uma vez que é reflectida pela atmosfera (nuvens) e pelas superfícies (arruamentos e edifícios), podendo por isso variar muito, dependendo das condições climáticas, variando desde céu encoberto a céu limpo, com radiação solar directa.

A iluminação natural tem assim o potencial para fornecer níveis de iluminação suficientes, reduzindo electricidade necessária para atingir um determinado nível de iluminação e, de inverno reduzir os consumos energéticos. No entanto pode originar um aumento dos consumos energéticos de arrefecimento, se não forem utilizadas formas de controlar a penetração de radiação directa no edifício.

O principal objectivo do projecto de fenestração, ou seja dos envidraçados de um edifício é o de maximizar os seus benefícios, ou seja:

- a iluminação natural;
- a comunicação visual com o exterior;
- a ventilação;

enquanto se minimizam os seus aspectos negativos:

- encadeamento (glare em inglês);
- ganhos térmicos por radiação;
- ganhos térmicos por convecção e condução; e
- perdas térmicas.

O objectivo do estudo de envidraçados no que respeita a iluminação é o de assegurar o máximo possível das exigências de iluminação através da iluminação natural, sem comprometer a eficiência energética. Para tal é necessário considerar as características térmica e de transmitância dos envidraçados, podendo ser utilizados vidros simples ou múltiplos, ou eventualmente caixilharia dupla e / ou vidros selectivos, o que pode reduzir a quantidade de luz natural que entra no edifício.

Níveis de iluminação e iluminação natural

As características de iluminação do ambiente interior têm um grande impacto na maior parte das actividades desenvolvidas no interior dos edifícios e também no desempenho energético dos mesmos.

A resposta do ser humano aos níveis de iluminação depende de um conjunto de factores, ainda não suficientemente estudados, não existindo um índice internacionalmente aceite que permita quantificar o nível de desconforto associado às condições de iluminação. No entanto, alguns investigadores desenvolveram modelos que permitem prever a avaliação subjectiva do ser humano em relação a este parâmetro de conforto. O modelo proposto por Fisher em 1970 foi um dos primeiros. Este modelo estabelece uma relação entre o nível de satisfação e a iluminância, quando o parâmetro em análise é a identificação de objectos através de uma janela.

Da análise da Figura 2.20, onde está representado a percentagem de insatisfeitos em função da iluminância (ou seja, a relação inversa do estudo de Fisher) é possível verificar que nível satisfação é maximizado quando a iluminância assume um valor próximo dos 2000 lx.

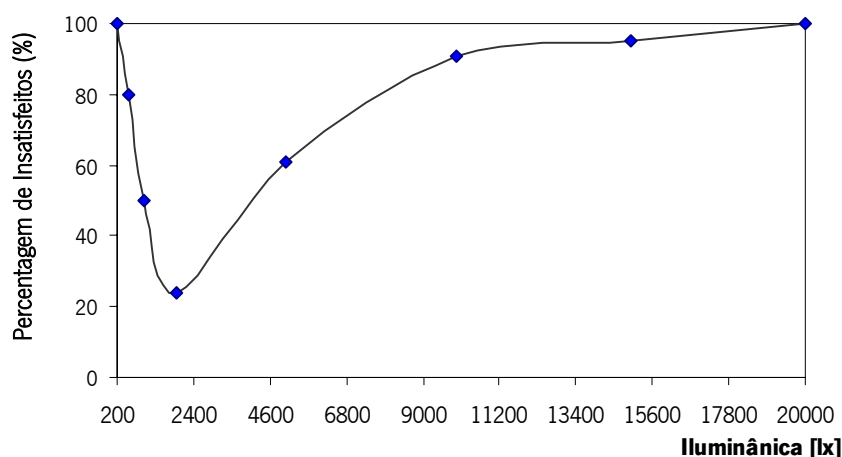


Figura 2.20 – Nível de insatisfeitos em função da iluminância (adaptado de Fisher, 1970)

Existem actualmente vários modelos para a previsão do desconforto visual sendo os mais conhecidos: o Índice Britânico de Ofuscação (Hopkinson e Bradley, 1960; Hopkinson, 1963; Hopkinson e Collins, 1963); o Limite de Luminância (Bodmann, 1967), o Índice de Ofuscação CIE (CIE 55, 1983), a Escala de Ofuscação Unificada (Einhorn, 1969, 1979, 1998; CIE 117-1995) e a Probabilidade de Conforto Visual (IESNA, 2000).

Os valores recomendados para os parâmetros de iluminação baseiam-se na correlação existente entre os diferentes níveis de iluminação e as respostas subjectivas dos ocupantes.

Ao nível do conforto lumínico ainda não existe regulamentação portuguesa que defina as condições de iluminação nos edifícios residenciais. Existem recomendações, do Ministério da Cultura, por exemplo, para as exigências da iluminação artificial em bibliotecas (MC, 2007).

Existem várias recomendações acerca dos parâmetros de iluminação em espaços interiores. Algumas delas podem ser obtidas em Boyce (1981), na norma da CIBSE (1994), na Comissão Internacional de Iluminação (CIE, acrónimo do francês, Commission Internationale de L'Éclairage), por exemplo na CIE Publication 29.2 (CIE, 1970; 1975), na norma ASHRAE 90.1 - Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings e ASHRAE 90.2 - Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings (ASHRAE 90.1, 2001 e ASHRAE 90.2, 2001) e na Comissão das Comunidades Europeias (Goulding, 1992; CEC, 1993).

A nível Europeu, a norma EN^o12464 define um conjunto de recomendações de modo a serem obtidas boas condições de iluminação no interior dos edifícios. Esta norma recomenda níveis mínimos de iluminância para os espaços interiores de edifícios, em função das tarefas que são executadas pelos seus ocupantes, de modo a que estas possam ser executadas com uma boa visibilidade, no que diz respeito à quantidade e qualidade da iluminação. (EN 12464-1, 2002).

A norma EN 15251, relativa à qualidade do ambiente interior, IEQ, define também as condições de iluminação para a obtenção de conforto (EN 15251, 2007).

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) definiu também valores mínimos recomendados para iluminâncias nos locais de trabalho, em função das tarefas a desempenhar e os intervalos de valores recomendados de iluminâncias, em função do tipo de actividade que se desenvolve no interior dos edifícios (CIE, 1970; CIE, 1975).

Existem diversas grandezas fotométricas que são utilizadas para caracterizar a luminosidade, sendo as mais comuns (Figura 2.21):

- o **fluxo luminoso** que representa a luz total emitida por uma fonte luminosa ou a luz total incidente numa superfície. É uma medida que deriva do fluxo radiante através das avaliações da radiação de acordo com a sensibilidade espectral padrão do olho humano (em Lúmen, lm);
- a **intensidade luminosa** de uma fonte é a propriedade que uma fonte tem de emitir luz numa dada direcção e sentido e que se define como sendo o fluxo luminoso emitido por uma determinada fonte por unidade de ângulo sólido (em candela, cd);
- a **iluminância**, em Lm/m² ou lux (lx), num ponto de uma superfície é o quociente do fluxo luminoso recebido por uma superfície elementar contendo o ponto, pela área dessa superfície, ou seja, 1 lúmen por unidade de área (Santos, 2001). A iluminância é a grandeza mais importante nos domínios da avaliação quantitativa em iluminação nos edifícios;
- a **luminância**, que expressa a intensidade da luz emitida numa determinada direcção por unidade de área de uma superfície luminosa ou reflectora, é o fluxo luminoso que vem de uma superfície e chega aos olhos do observador (candelas por m², cdm²). A luminância de uma superfície iluminada é a iluminância recebida nessa superfície e modificada pela reflectividade dessa superfície, corresponde ao impacte visual no olho humano da intensidade luminosa da superfície.

Em espaços dotados de iluminação natural, os requisitos em termos de iluminâncias podem também ser traduzidos em termos de valores mínimos do Factor de Luz do Dia (FLD) no plano de trabalho, dada a grande variabilidade do nível de iluminação ao longo do dia e do ano. Estes valores tomam em

consideração a variabilidade e outras propriedades da iluminação natural. Assim, a eficácia da iluminação natural como fonte de iluminação é medida através do Factor de Luz do Dia.

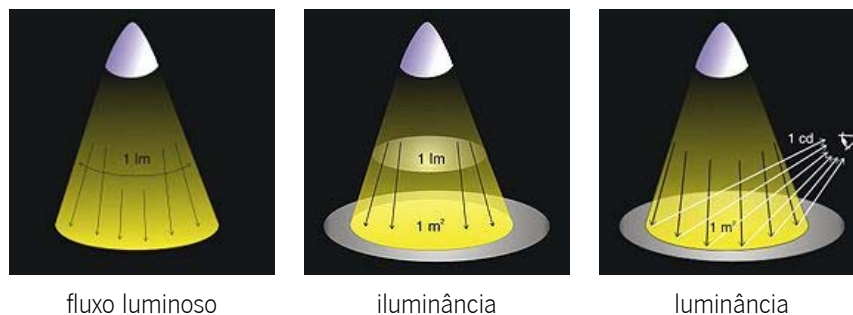


Figura 2.21 – Representação esquemática de algumas grandezas fotométricas

O **Factor de Luz do Dia**, em percentagem é o quociente (expresso em percentagem) entre a iluminância, num ponto de um plano no interior de um compartimento, à altura do plano de trabalho, devida a um céu com uma distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminância exterior simultânea num plano horizontal proveniente de um hemisfério desobstruído desse céu (CIE, 1987).

Na teoria, o conceito de FLD pode ser aplicado sob quaisquer condições de nebulosidade. No entanto, a sua representatividade, enquanto parâmetro característico, restringe-se às condições de nebulosidade traduzidas pelo Céu-Encoberto-Padrão da CIE cuja distribuição teórica de luminâncias apenas traduz com rigor as condições de céu completamente encoberto por nuvens escuras (Santos, 2001; Almeida, 2009).

O Factor de Luz do Dia é o parâmetro mais utilizado, no que diz respeito à iluminação natural, para a sua quantificação no interior das habitações.

O Factor de Luz do Dia deve variar entre 2% e 5%. Valores de Factor de Luz do Dia inferiores a 2% são percebidos como um espaço escuro e valores superiores a 5% conduzem a ganhos solares desnecessários (e-News Issue 57, 2006).

Em geral a iluminação natural que atravessa os envidraçados fornece níveis de iluminação superiores ao necessário, o que pode resultar em ganhos solares desnecessários (e-News Issue 57, 2006). Os ganhos da incidência de radiação solar directa num plano horizontal são de cerca de 900 W/m² e os devidos à radiação solar indirecta que atravessa um envidraçado são de aproximadamente 350 W/m², a meio do Verão.

A iluminância exterior varia entre 20000 lx e 100000 lx em condições de céu limpo e entre 5000 lx a 20000 lx para condições de céu encoberto (Santos, 2001).

Dois potenciais problemas estão associados com a utilização da iluminação natural, o encadeamento e os ganhos térmicos, sendo o desafio maximizar os benefícios da luz natural, minimizando os ganhos solares.

A norma EN^o12464 indica um conjunto de recomendações relativas à distribuição de luminâncias, à iluminância, ao encadeamento e às reflexões.

A distribuição das luminâncias em todo o campo de visão controla o nível de adaptação dos olhos que afecta a visibilidade da tarefa. Uma luminância de adaptação bem equilibrada é necessária para aumentar a agudeza visual (nitidez da visão); a sensibilidade ao contraste (distinção de diferenças de luminância relativamente pequenas); a eficácia das funções oculares (tais como acomodação, convergência, contracção da pupila, movimentos de olhos, etc.). A distribuição das luminâncias em todo o campo de visão afecta também o conforto visual. Deste modo, deve evitar-se: luminâncias demasiado elevadas que podem dar lugar a encadeamento; contrastes de luminância demasiado altos que causem fadiga devido a readaptação do constante dos olhos; luminâncias demasiado baixos e contrastes de

luminância demasiados baixos que dão origem a um ambiente de trabalho monótono e pouco estimulante.

A iluminância e a sua distribuição em toda a área de trabalho e a área circundante têm um grande impacto no modo como a pessoa percebe e realiza a tarefa visual de forma rápida, segura e confortável. Um factor de aproximadamente 1,5 representa a menor diferença significativa no efeito subjectivo de iluminância. Em condições normais de iluminação são necessários aproximadamente 20 lx para distinguir as características do rosto humana e é o valor mais baixo tomado para a escala de luminâncias. A iluminância deve ser aumentada quando: o trabalho visual é crítico; os erros são difíceis de corrigir; a execução de maior produtividade tem uma grande importância; a capacidade visual do trabalhador está abaixo do normal; os detalhes da tarefa são de tamanho muito pequeno e de baixo contraste; a tarefa realizada é por um tempo bastante extenso. Do mesmo modo, a iluminância pode ser diminuída quando: os detalhes da tarefa são de tamanho suficientemente grande e de elevado contraste; a tarefa é executada durante um tempo suficientemente curto. Em áreas ocupadas de modo contínuo, a iluminância mantida não deve ser inferior a 200 lx.

A iluminância de áreas circundantes imediatas deve estar relacionada com a iluminância da área de trabalho e deve proporcionar uma distribuição de luminância bem adaptada ao campo de visão, uma vez que grandes variações as iluminâncias que circundam a área de trabalho podem conduzir a stress visual e desconforto.

O encandeamento ocorre quando uma fonte luminosa intensa se encontra no campo de visão dos ocupantes e pode conduzir a situações de desconforto ou perturbação. É importante limitar o encandeamento para evitar erros, fadiga e acidentes.

No interior dos locais de trabalho o encandeamento desconfortável pode surgir directamente a partir das janelas, devido ao sol estar no campo de visão, mas pode também ocorrer quando reflexões do sol se encontram no campo de visão. Este fenómeno pode ser minimizado com o uso de cortinas.

A forma mais simples de controlar o encandeamento é evitar a existência de envidraçados de grandes dimensões orientadas a Este e a Oeste e que os envidraçados orientados a Sul possuam sistemas de sombreamento, cortinas, persianas, estores venezianos, por exemplo, que controlem a penetração da radiação mais baixa durante o inverno.

Os envidraçados a Norte, só raramente estão expostos à radiação solar, e quando estão o ângulo de incidência é oblíquo, não provocando, em geral, encandeamento.

As reflexões muito brilhantes na tarefa visual podem alterar, usualmente de forma prejudicial, a visibilidade da tarefa. As reflexões indirectas e os encandeamentos reflectidos podem ser impedidos ou minimizados mediante a adopção das seguintes medidas: disposição dos sistemas de lâmpadas e locais de trabalho; acabamento das superfícies (superfícies foscas); limitação da luminância dos sistemas de lâmpadas; aumento da área luminosa dos sistemas de lâmpadas (luminárias); tecto brilhante e paredes brilhantes.

A qualidade da iluminação e o conforto lumínico de um local dependem da quantidade, da qualidade e da distribuição da iluminação no espaço. Sendo a análise do conforto visual em edifícios geralmente efectuada mediante a avaliação de determinados parâmetros e grandezas, como sejam o Factor de Luz do Dia, as iluminâncias, as luminâncias, as reflectâncias, o contraste e o encandeamento.

As recomendações da Comissão Internacional de Iluminação no que diz respeito à iluminância e ao Factor de Luz do Dia, para edifícios residenciais, encontram-se apresentadas na Tabela 2.11 e na Tabela 2.12, em função do tipo de compartimento (CIE, 1975; Goulding, 1992; Santos, 2001; Santos, 2005).

Tabela 2.11 - luminâncias recomendadas no plano de trabalho em edifícios residenciais (CIE, 1975; Santos, 2001; Santos, 2005)

Edifícios Residenciais	Iluminância (lx)
zonas de passagem ("halls")	50 - 100
salas de jantar	100
salas de estar, cozinhas	200
zonas de estudo	300 - 500

Tabela 2.12 - Valores recomendados para o factor de luz do dia, FLD, em edifícios residenciais (Goulding, 1992; Santos, 2001; Santos, 2005)

Compartimento	FLD (%)
Quartos	$\geq 0.5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento
Cozinhas	$\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento
Salas	$\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento

Santos recomenda, para Portugal, uma vez que o número de horas de céu encoberto é reduzido, quando comparado com a grande maioria dos países Europeus e a iluminância exterior recomendada para o céu encoberto é excedida em 90% do tempo ao longo do ano, que o Factor de Luz do Dia não ultrapasse os 3%, sendo assegurados os níveis de iluminação e os ganhos térmicos através dos envidraçados durante o inverno, sem sobreaquecer o edifício durante o verão (Santos, 2001).

Para a existência de conforto visual é necessário limitar os valores do contraste de luminâncias admissíveis entre diferentes superfícies e/ou objectos dentro do campo visual dos ocupantes dos edifícios.

A luminância constitui o modo objectivo de avaliação do brilho das superfícies, deste modo o conforto visual em termos de contrastes é avaliado mediante os quocientes de luminâncias. Na Tabela 2.13 referem-se os valores máximos recomendados de quocientes de luminâncias (CIE, 1975; Santos, 2001; Santos, 2005).

Tabela 2.13 - Quociente de luminâncias máximos recomendados (CIE, 1975; Santos, 2001)

Fundo da tarefa visual: ambiente	3/1
Fundo da tarefa visual: campo periférico	10/1
Fonte de luz: campos adjacentes	20/1
Interior em geral	40/1

A quantidade, a distribuição da luz e a quantidade do contraste num compartimento dependem das propriedades reflectoras das paredes e de outras superfícies, sendo a influência das propriedades reflectoras das superfícies interiores de importância primordial. As reflectâncias recomendadas para várias superfícies interiores estão indicadas na Tabela 2.14 (CIE, 1975; Santos, 2001; Santos, 2005).

Tabela 2.14 - Reflectâncias recomendadas (CIE, 1975; Santos, 2001; Santos, 2005)

Compartimento	Reflectâncias
Tectos	0.70 - 0.85
Paredes próximas de fontes de luz	0.60 - 0.70
Outras paredes	0.40 - 0.50
Pavimentos	0.15 - 0.30

A iluminação é assim um dos mais importantes factores a ter em conta na definição do ambiente interior das construções, não só para garantir a visibilidade no espaço, mas também para assegurar a realização adequada, segura e confortável das actividades quotidianas, tendo uma influência significativa na produtividade, tal como mostra a Figura 2.22.

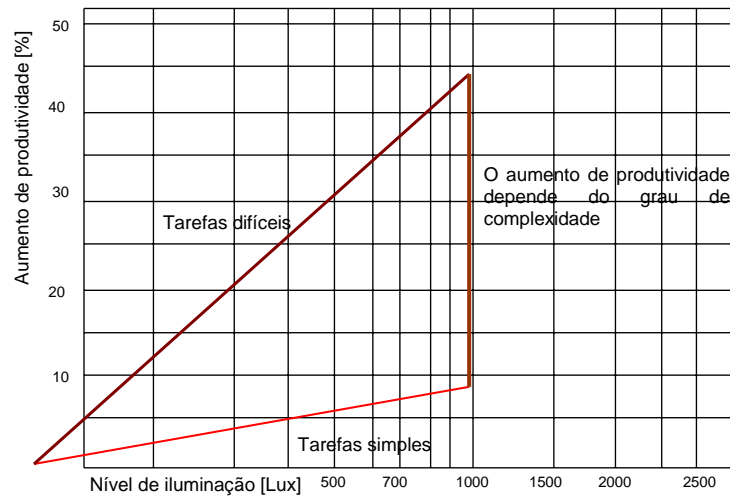


Figura 2.22 – Aumento da produtividade em função da complexidade da tarefa e dos níveis de iluminação

A utilização da iluminação natural é muito afectada pela forma e orientação do edifício, devendo ser utilizados sistemas de sombreamento adequados em função da orientação dos envidraçados. As fachadas orientadas a Norte e a Sul possuem maior capacidade de assegurar condições de iluminação natural sem a incidência directa de radiação do que as fachadas Este e Oeste, devido à posição do sol, tal como referido.

A Figura 2.23 mostra, de forma esquemática, a forma e orientação dos edifícios de modo a maximizar o aproveitamento da iluminação natural e dos ganhos solares.

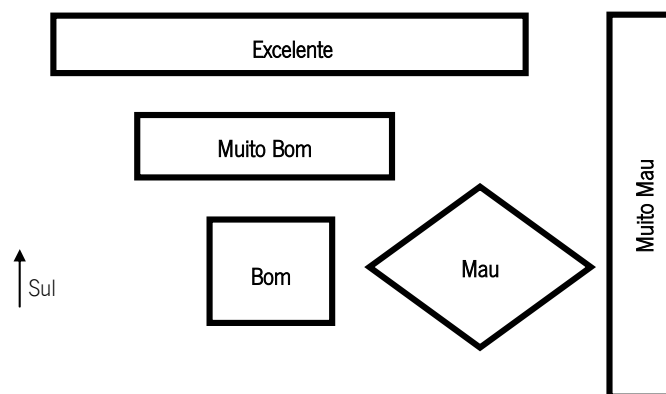


Figura 2.23 – Forma e orientação dos edifícios para otimizar a utilização da iluminação natural e dos ganhos solares

Um bom sistema de iluminação natural pode ser conseguido através da consideração dos elementos seguintes em relação à incidência de luz natural no edifício:

- a orientação, organização e geometria dos espaços que é necessário iluminar;
- a localização, forma e dimensões das aberturas através das quais a luz vai entrar;

- a localização e propriedades das superfícies de compartimentação do interior dos compartimentos, que reflectem a luz e têm um papel importante na sua distribuição;
- a localização, forma e dimensões, etc., de dispositivos fixos ou móveis que permitem controlar (protegem) do excesso de luz e do encandeamento; e
- as características térmicas e de transmissão de luz dos materiais dos envidraçados.

Do ponto de vista do aproveitamento da iluminação natural, a orientação dos vãos envidraçados é uma questão importante, pois (Santos, 2001; Santos, 2005):

- os envidraçados a Norte permitem o aproveitamento de luz natural de qualidade e consistência (sem grande variabilidade ao longo do dia e do ano) com ganhos térmicos mínimos de Verão, mas com perdas térmicas significativas nos períodos frios. A orientação Norte constitui assim a opção mais adequada quando se pretenda excluir a radiação solar directa.
- os envidraçados a Sul possibilitam o acesso a uma iluminação natural forte e contrastante, embora com variações significativas de intensidade ao longo do dia e do ano.

Esta orientação permite o controlo da radiação solar quando o Sol está alto e o seu aproveitamento durante as estações frias, sendo o sombreamento desejável e relativamente fácil de assegurar.

Estas características fazem de Sul a orientação preferencial para os vãos envidraçados.

- os envidraçados a Este e a Oeste proporcionam iluminação natural desigual ao longo dos períodos do dia (com incidência de radiação solar de manhã a Este e de tarde a Oeste).

O sombreamento pode ser problemático, mas essencial para se garantirem condições de conforto (térmico e lumínico) particularmente a Oeste devido aos elevados ganhos solares durante toda a estação de arrefecimento e eventualmente durante partes significativas da estação de aquecimento.

A diminuição da área envidraçada e/ou a utilização de envidraçados que permitam o controlo dos ganhos solares podem ser uma opção paramelhorar o desempenho dos envidraçados nesta orientação.

- os envidraçados horizontais são os mais expostos à radiação solar directa no Verão, justificando atenção particular no controlo dos ganhos solares. Durante os períodos de Inverno a exposição pode ser considerada equivalente às das orientações Este e Oeste.

A quantidade de luz natural disponível no interior de um compartimento está directamente relacionada com a área envidraçada da(s) janela(s) desse compartimento (Santos, 2001; Santos, 2005).

Nos espaços interiores com janelas laterais, a luz natural disponível diminui rapidamente com a distância à janela, assim como com a diminuição da altura dos envidraçados (Figura 2.24).

A distribuição e tamanho dos envidraçados pelo compartimento e as suas dimensões irão definir as linhas de igual factor luz do dia (isolinhas) (Figura 2.25).

Além da altura dos envidraçados, com iluminação natural unilateral, os efeitos do pé-direito e da profundidade dos espaços são significativos e estão relacionados, como mostram as Figura 2.24 e Figura 2.25.

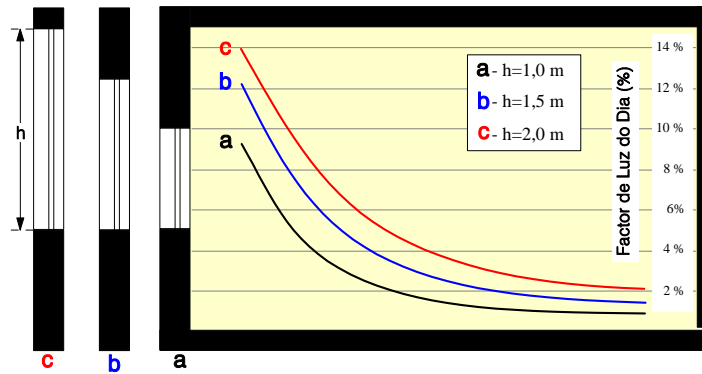


Figura 2.24 - Influência da altura das janelas para a iluminação natural (Santos, 2005)

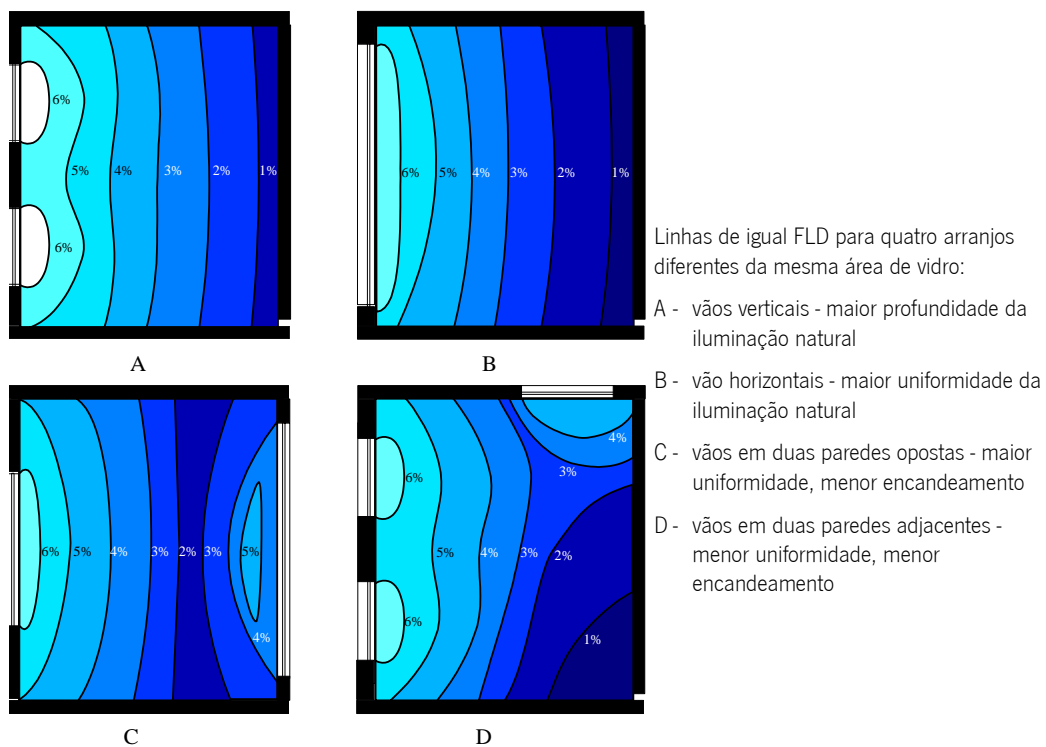


Figura 2.25 - Influência da localização das janelas para a iluminação natural (Santos, 2005)

Os vãos envidraçados altos constituem um meio eficaz para se obterem níveis elevados de iluminação natural, constituem o modo mais eficaz de proporcionar níveis de iluminação mais aceitáveis nas zonas mais afastadas dos vãos em compartimentos profundos, como mostra a Figura 2.26, uma relação de 1/1,5 a 1/2 entre a altura dos vãos e a profundidade do compartimento permite, de um modo geral, a obtenção de condições razoáveis de quantidade e distribuição da iluminação natural (Santos, 2005). No entanto, as necessidades de protecção (por razões de conforto visual e térmico) são também maiores (Santos, 2005).

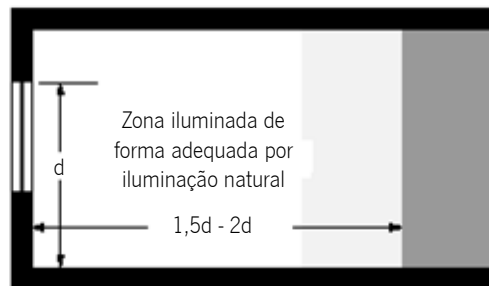


Figura 2.26 - Influência da altura do envidraçado e da profundidade do compartimento para a eficácia da iluminação natural (Santos, 2005)

Assim, para aumentar a eficiência energética e a qualidade dos ambientes edificados é necessário complementar a iluminação natural com a artificial, como mostra a Figura 2.27.

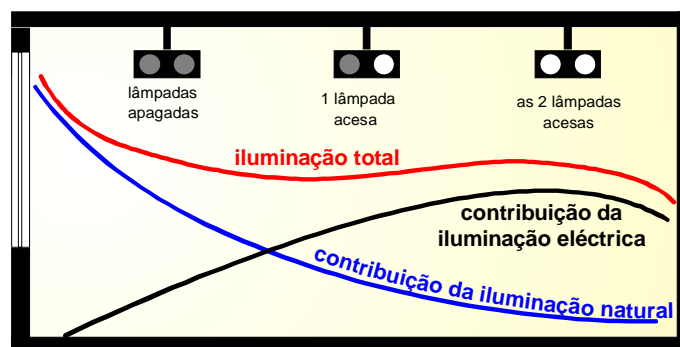


Figura 2.27 - Complementaridade entre iluminação natural e artificial (Santos, 2001; Santos, 2005)

Além da utilização dos envidraçados, podem ser utilizados outros dispositivos de aproveitamento de iluminação natural, como por exemplo através de poços de luz, prateleiras solares, luminoductos ou ductos solares, clarabóias, aberturas zenitais.

Protecção Solar nos Edifícios

Dispositivos de sombreamento, com dimensões adequadas e correctamente escolhidos podem contribuir para:

- uma maior uniformidade da iluminação natural interior;
- minimização do encandeamento;
- protecção térmica.

Existem diferentes sistemas de sombreamento que podem ser colocado no exterior ou no interior, tal como os exemplos representados na Figura 2.28 e na Figura 2.29, respectivamente.

Os dispositivos de sombreamento podem ser divididos em dois tipos: exteriores, que podem ser fixos ou móveis e interiores, como se verá de seguida.

O modo mais eficaz de proteger um edifício contra o excesso de radiação solar directa, consiste em sombrear os seus vãos envidraçados e outras aberturas, de modo a rejeitar a radiação solar directa indesejável.

Do ponto de vista da eficácia no bloqueamento dos ganhos térmicos solares, os dispositivos de sombreamento exteriores são mais eficazes que os sistemas de sombreamento interiores.

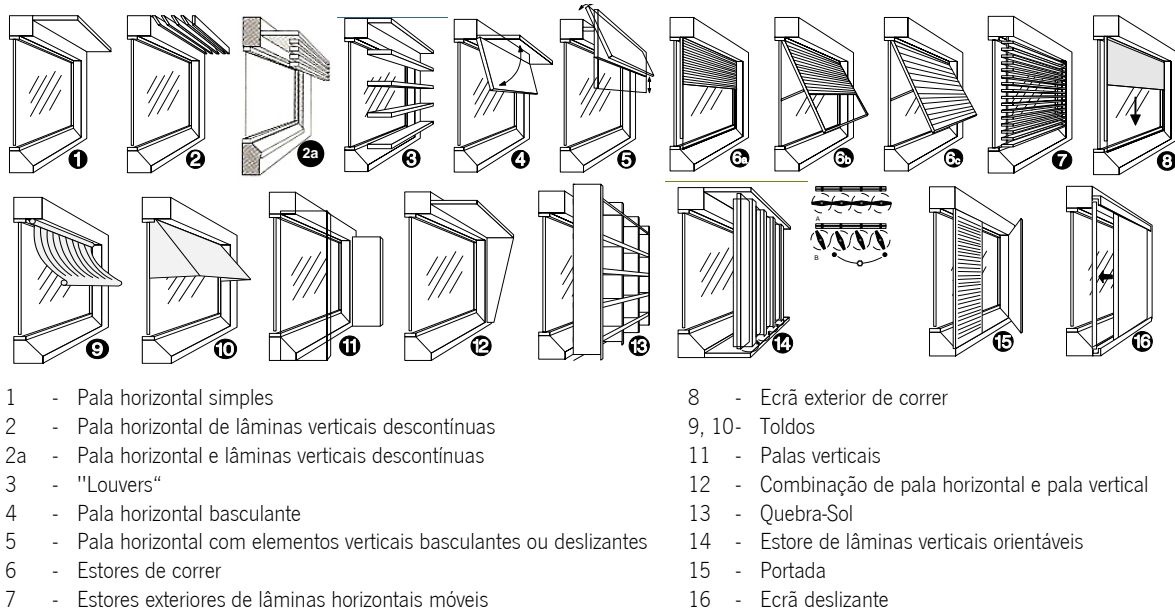


Figura 2.28 - Sistemas de sombreamento exteriores

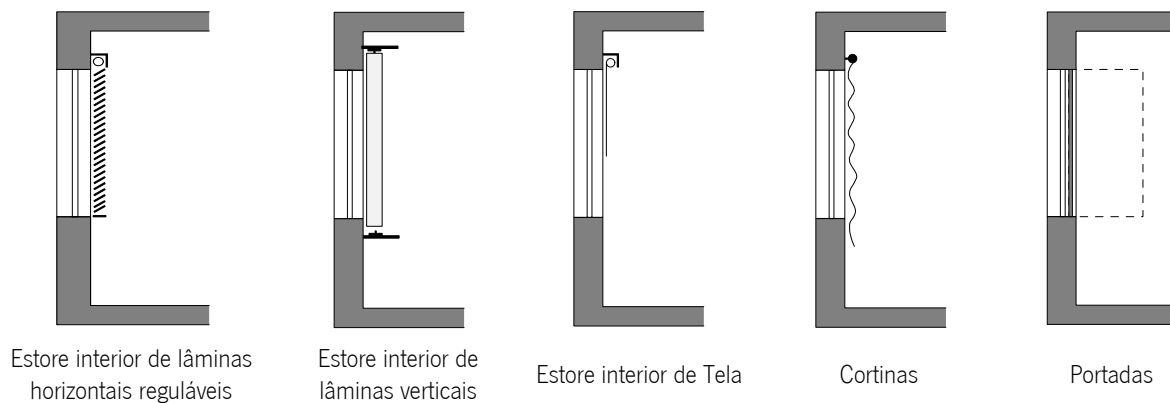


Figura 2.29 - Sistemas de sombreamento interiores

Paralelamente às exigências de protecção dos ganhos térmicos, os elementos de sombreamento exterior podem também ser úteis na redução do encandeamento, bloqueando parcialmente a visão de partes de céu demasiado brilhantes, por parte dos ocupantes.

As palas de sombreamento e as palas reflectoras podem melhorar a distribuição de iluminâncias e reduzir o encandeamento.

Quanto maior for a pala maior é a redução dos níveis de iluminação natural junto aos vãos, dando uso a uma iluminação mais uniforme.

Se for projectada uma protecção fixa, o seu correcto dimensionamento é determinado pela largura e altura do elemento envidraçado do vão e pela distância entre o elemento de protecção e o vão. Um método relativamente expedito de dimensionamento consiste em utilizar cartas solares que permitem estimar o grau e duração do sombreamento causado por uma determinada protecção no correspondente vão envidraçado a proteger.

A eficácia de um sistema de sombreamento é expressa através de um coeficiente de sombreamento que é o quociente da energia que atravessa um vão envidraçado protegido, pela energia que atravessa o mesmo vão envidraçado sem protecção.

Os dispositivos de sombreamento interiores por si só possuem uma capacidade limitada de controlo dos ganhos solares. São mais eficazes no controlo do encadeamento

Do ponto de vista da redução das cargas térmicas, todos os dispositivos de sombreamento interiores são menos eficazes do que um bom sistema de sombreamento exterior pois permitem que o calor do sol penetre para o interior dos edifícios.

Para além disso, como estão fortemente dependentes do uso que os ocupantes lhes dão, podem, também por isso, ser pouco eficazes no controlo dos ganhos solares.

Estratégias para obtenção de iluminação energeticamente eficiente

O desafio no projecto de iluminação é fornecer o nível de iluminação suficiente, onde é precisa, quando é necessária, sem consumos desnecessários de energia. Para tal é necessário utilizar os sistemas mais eficientes, de iluminação natural e artificial, bem como de luminárias, combinadas com sistemas de controlo eficientes.

A estratégia para conseguir atingir este objectivo passa por:

- definir os requisitos de iluminação, definindo os níveis de iluminação necessários nos diferentes locais para os diferentes períodos;
- utilizar a iluminação natural sempre que possível;
- seleccionar sistemas lâmpadas e luminárias eficientes;
- projectar a localização dos sistemas de forma adequada;
- ter especial atenção ao encadeamento, e excesso de luminosidade;
- utilizar sistemas de controlo eficientes.

Os objectivos do projecto de iluminação natural são:

- 1 - Maximizar a transmissão de luz por unidade de área envidraçada.
- 2 - Controlar a penetração de luz solar directa sobre o plano de trabalho.
- 3 - Controlar o contraste dentro do campo visual dos ocupantes, especialmente entre as janelas e as superfícies circundantes do local.
- 4 - Minimizar a redução por ângulo de incidência da luz a entrar. Isto significa envidraçados colocados na parte mais alta das paredes, produzem mais iluminância que uma janela baixa de igual área.

Os projectos de iluminação natural têm três problemas a resolver:

- 1) A má qualidade da iluminação unilateral
- 2) luz solar directa, que pode causar encandeamento
- 3) A iluminação de locais que não têm ligação visual com o exterior (caves, corredores, etc.)

Além disso, devido à sua variabilidade ao longo do dia e ao longo do ano, a iluminação natural pode não proporcionar a iluminação suficiente ou adequada ao longo de todos os períodos de utilização.

Assim, os espaços interiores devem dispor de dispositivos de iluminação artificial adequados de modo a suplementarem a iluminação natural, quando tal for necessário, de forma a assegurar a iluminância necessária para os postos de trabalho para equilibrar a distribuição de luminâncias dentro dos espaços.

A iluminação artificial não deve ser encarada como uma alternativa à iluminação natural, mas antes como um modo complementar de proporcionar as necessárias condições de iluminação quando tal não é possível apenas à custa da luz natural.

Assim, a iluminação dos espaços interiores pode ser obtida com luz natural, artificial ou com a combinação de ambas (aumentando a eficiência energética e a qualidade dos ambientes edificados).

Uma vez optimizado o aproveitamento da iluminação natural e esta deve ser complementada com a iluminação artificial.

Para a definição da iluminação artificial é necessário considerar cada componente do sistema (lâmpadas, luminárias, reactivos) que têm desempenho e qualidades diferentes, dependendo do tipo de tecnologia empregue no seu fabrico.

A eficiência do sistema de iluminação artificial adoptado no projecto depende do desempenho particular de todos os elementos envolvidos, bem como da integração feita com os sistemas de iluminação natural (Lamberts, 1997).

Após seleccionar e localizar os sistemas de iluminação é necessário que estes sejam controlados de forma eficiente, estando ligados apenas quando e onde necessário. Para isso é necessário que os sistemas sejam instalados por zonas com controlos, circuitos, diferenciados, em função da distância ao envidraçado. As zonas mais afastadas podem necessitar de iluminação durante períodos mais extensos do que junto aos envidraçados, em que a utilização da iluminação natural pode ser eficaz durante grande parte do dia.

O zonamento deve também ter em consideração os padrões de ocupação, de forma a só estarem ligados os equipamentos necessários à ocupação.

Em geral os ocupantes ligam as luzes quando sentem que o nível de iluminação não é suficiente, no entanto, em geral, não as desligam quando deixam de ser necessárias, logo pode ser vantajosa a instalação de sistemas de controlo que desliguem as luzes quando estas já não são necessárias, através da detecção da ocupação e/ou do nível de iluminação.

A utilização de reguladores para iluminação (dimmers) é também vantajosa de forma a maximizar o aproveitamento da iluminação natural, o que pode resultar em poupanças energéticas significativas, tal como mostra a Figura 2.30, para um edifício de escritórios, com envidraçados orientados a Norte e um sistema de regulação da iluminação electrónico associado à detecção do nível de iluminação natural, sendo as poupanças da ordem dos 38%.

Os níveis de iluminação necessários de cada espaço dependem do tipo de actividade que aí se desenvolve. Em locais de trabalho, escritório e escolas, por exemplo, deve ser definido um nível de iluminação do espaço suficiente para as actividades gerais e circulação, cerca de 150 lx a 200 lx e complementar o nível de iluminação, nos locais de trabalho utilizando sistemas de iluminação localizada, cerca de 300 lx a 400 lx. Desta forma reduzem-se os consumos energéticos e as cargas térmicas associadas aos sistemas de iluminação, mas também os custos dos equipamentos e da sua instalação (e-News Issue 57, 2006).

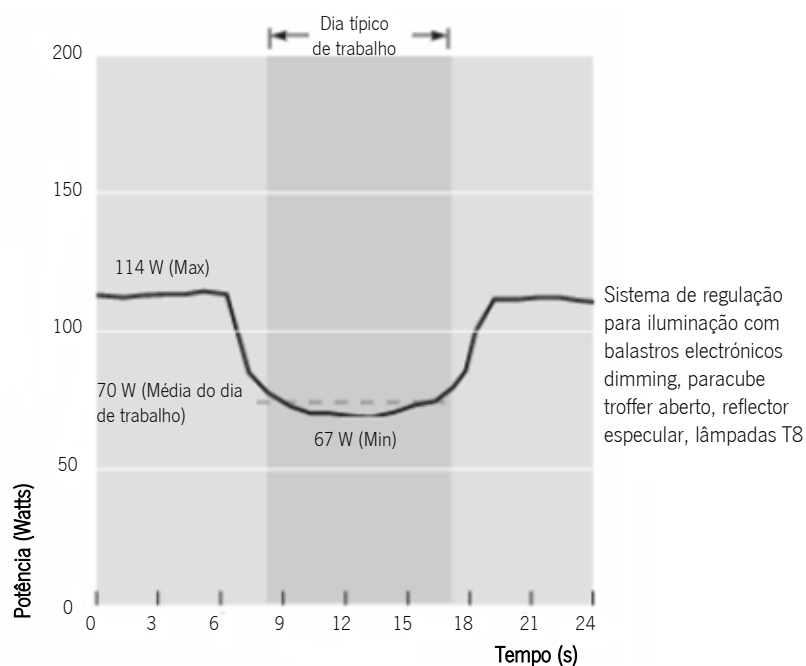


Figura 2.30 – Poupanças energéticas com o uso de dimmers controlados por sensores de nível de iluminação (Fonte: Florida Solar Energy Center)

Outra forma de controlar a iluminação artificial pode ser realizada de forma manual ou automática, devendo para tal estes sistemas ser instalados de modo a permitirem a flexibilidade do sistema, permitindo ligar e desligar os sistemas por zonas.

Podem ser também utilizados sensores de iluminação e controlos de regulação para iluminação, que ligam os sistemas de iluminação artificial quando os níveis de iluminação não são suficientes, temporizadores, que desligam os sistemas de iluminação depois de um período de tempo definido previamente, ou sensores de ocupação que desligam os sistemas depois de um período de tempo pré-determinado sem ocupação (Figura 2.31).

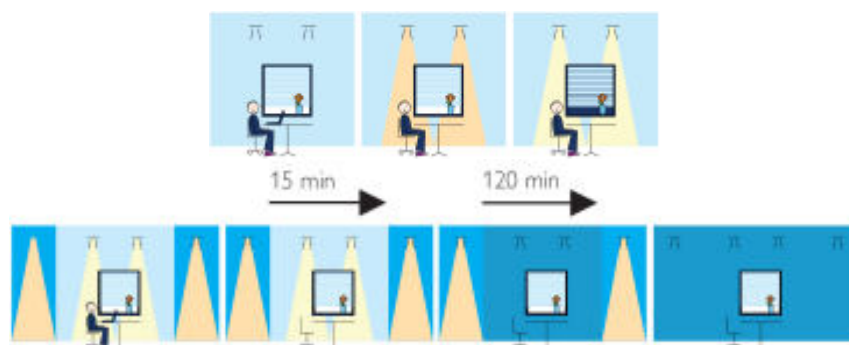


Figura 2.31 – Representação esquemática do modo de funcionamento de sensores de níveis de iluminação e de ocupação (Fonte: actilume)

Reduzem-se assim os consumos energéticos associados à iluminação artificial e às cargas térmicas destes sistemas.

2.3.2.3. Qualidade do ar interior

O tema relativo à qualidade do ar interior começou a ser incluído nas preocupações ao nível do estudo dos edifícios nas últimas décadas, devido à exponencial manifestação de doenças do foro respiratório e alérgico, com abrangência ao nível de todas as classes sociais (Tirone, 2007). Esses problemas têm resultado do facto das pessoas passarem a maior parte do seu tempo em espaços fechados. No interior dos espaços os níveis de concentração de poluentes atingem valores cinco vezes superiores ao exterior, podendo mesmo atingir concentrações 100 vezes superiores (Santos, 2006).

A qualidade do ar interior é um aspecto importante da Qualidade do Ambiente Interior que é muitas vezes negligenciado em edifícios com ventilação natural e em especial nos edifícios de habitação.

A Qualidade do Ar Interior é muito importante para o conforto dos ocupantes e pode afectar as estratégias de eficiência energética dos edifícios, mas é também relevante para a saúde e o bem-estar dos ocupantes dos edifícios.

A redução das infiltrações é uma estratégia importante para reduzir os consumos energéticos dos edifícios, o que reduz a taxa de ventilação natural, o que pode aumentar a concentração de poluentes.

A origem dos poluentes encontrados no interior dos edifícios pode estar presente quer no interior quer no exterior dos mesmos. No interior pode-se destacar as seguintes origens: duches, lavagens, preparação de refeições, produtos de combustão (esquentador, lareira, caldeira, fogão, aquecimento a gás, tabaco), produtos de limpeza, materiais de construção, aspiração, funcionamento de electrodomésticos e garagens. Por outro lado, do exterior, as fontes de poluentes podem ser: emissões de tráfego (combustão de combustíveis fósseis), emissões industriais e emissões naturais (pólen, acção do vento sob superfícies não pavimentadas) (Santos, 2006). Como mostra a Figura 2.32, em muitos casos, os problemas de qualidade do ar interior são devidos a um deficiente sistema de ventilação.

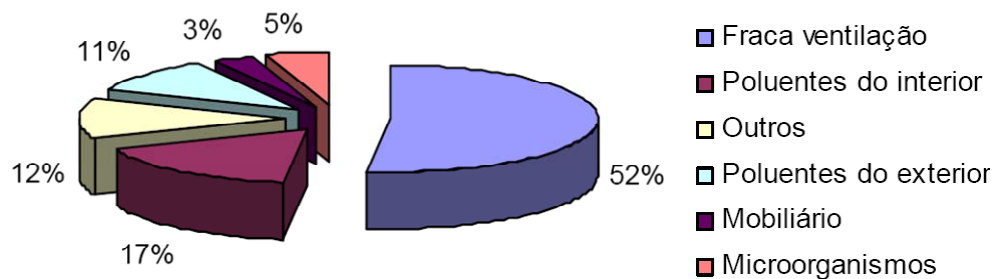


Figura 2.32 – Identificação de problemas em investigações de qualidade do ar interior (Santos, 2006)

A Qualidade do Ar Interior é determinada por vários factores:

- Equipamentos e aparelhos, electrodomésticos, utilizados no edifício;
- Actividades dos ocupantes (por exemplo fumar);
- Materiais do edifício;
- Qualidade do ar no exterior.

Os contaminantes que afectam a qualidade do ar incluem gases, em especial dióxido de carbono e monóxido de carbono, mas também o ozono, vapores e odores, fungos, bolores, partículas de pó que podem ser de origem biológica ou mineral (Raw, 1997).

A qualidade do ar interior verifica-se pela sua composição química e bacteriológica, pelos seus níveis de temperatura e humidade relativa e ainda pela percepção que cada pessoa faz da qualidade do ar (APA, 2009). Isto porque determinados níveis de temperatura, de humidade relativa ou até da concentração de alguns COV, por exemplo, podem ser considerados desconfortáveis para algumas pessoas mas confortáveis para outras. No entanto, mesmo que algumas pessoas considerem elevadas concentrações de certos poluentes confortáveis, caso estas contribuam para a diminuição da saúde humana, um espaço onde estes existam não poderá ser considerado como um espaço com uma boa qualidade do ar (Chappells, 2005). Por exemplo, algumas pessoas gostam de ter ambientadores ou velas em casa, no entanto estes podem causar níveis elevados de concentrações de compostos orgânicos voláteis, o que poderá originar problemas na sua saúde.

Edifícios com uma má qualidade do ar interior podem levar a que os seus utilizadores tenham vários problemas de saúde e vejam a sua produtividade diminuída. Um estudo efectuado em escritórios na Dinamarca provou que quanto menor for a insatisfação dos utilizadores com a qualidade do ar interior menor será a sua produtividade, como se pode observar na Figura 2.33 (Wargocki, 2009).

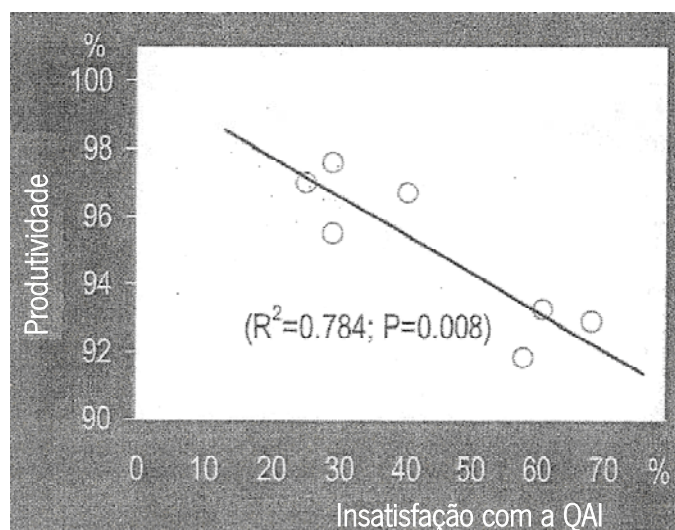


Figura 2.33 – Relação entre a produtividade e a insatisfação com a qualidade do ar de utilizadores de um edifício de escritórios estudado na Dinamarca (Adaptado de Wargocki, 2009)

O mesmo estudo demonstrou também que quanto menor era a satisfação com a qualidade do ar menor seria a produção de dióxido de carbono por parte dos utilizadores do edifício. A diminuição da produção de CO₂ poderá ser justificada por uma menor troca gasosa nos pulmões quando o ar poluído é inalado. Este mecanismo faz com que exista uma maior concentração de dióxido de carbono no sangue que acaba por ser traduzida através de dores de cabeça (Wargocki, 2009).

Na Tabela 2.15 apresentam-se a indicação de uma forma de detecção de problemas associados à qualidade do ar interior dos edifícios através dos odores.

Tabela 2.15 - Odores como indicadores de problemas nos edifícios

Descrição	Problemas	Queixas
Exaustão de produtos de combustão, escape de veículos	CO	Dores de cabeça, náuseas, cansaço, vertigens
Odores corporais	Sobrelotação, baixo nível de ventilação	Dores de cabeça, cansaço, falta de ar
Cheiro a mofo	Material microbiano	Sintomas de alergia
Cheiro a químicos	Formaldeído, pesticidas	Irritação de olhos nariz e garganta
Cheiro a solventes, perfumes	COV	Odores, sintomas de alergia, vertigens, dores de cabeça
Cheiro a cimento molhado, pó, calcário	Partículas, falha no sistema de humidificação do ar	Olhos secos, problemas respiratórios, irritação de nariz e garganta, irritação na pele, tosse e espirros
Odor de gás de esgoto	Falta de escorvamento de sifões de rede de esgotos	Cheiro e efluente doméstico

Síndrome dos edifícios Doentes

A partir dos anos 70, do Século XX, surgem, em edifícios de serviços, situações em que os ocupantes do edifício apresentam problemas de saúde associados a patologias existentes nos edifícios ao nível da qualidade do ar. Para além de problemas relacionados com a saúde dos ocupantes dos edifícios, este tipo de espaços está também associado a outros problemas como o aumento de absentismo e rotação do pessoal, redução da eficiência do trabalho, pausas prolongadas e frequentes e insatisfação de clientes e trabalhadores. Em 1982 a Organização Mundial da Saúde designou estes sintomas como Síndrome dos Edifícios Doentes (SBS), começando então a temática da qualidade do ar interior a adquirir importância.

Um edifício é designado como doente se pelo menos 20% dos ocupantes apresentarem um conjunto de sintomas, que surgem pouco tempo depois de entrarem no edifício, aumentam de intensidade durante o período de permanência e desaparecem rapidamente depois de abandonarem o edifício, não sendo identificada uma causa específica para esses sintomas (Robertson, 1995). Os sintomas resultam do conjunto de condições ambientais que têm um efeito aditivo ou de sinergia (vários poluentes provocam os mesmos sintomas). Alguns fenómenos de stress tais como condições de iluminação insuficientes, ruído, vibrações, sobreocupação, ou falta de ergonomia, bem como o stress associado ao trabalho desenvolvido podem também produzir sintomas similares aos associados à qualidade do ar inadequada. No entanto, um factor característico do SBS é o facto de, normalmente, os sintomas se agravarem ao longo do dia, quando a permanência nos edifícios é prolongada, diminuindo à noite e nos fins-de-semana, ou quando se melhoram as condições de ventilação dos locais.

Os sintomas evidenciados normalmente por um número significativo de ocupantes que frequentam edifícios com o Síndrome dos Edifícios Doentes são:

- Irritação das mucosas do globo ocular, nariz e garganta;
 - olhos: irritação, secura e prurido;
 - nariz: irritação, secura e congestionamento;
 - garganta: secura, rouquidão, prurido e tosse;
- Afecções cutâneas (pele seca, irritação, prurido e eritemas);
- Dores de cabeça, náuseas e tonturas;

- Distúrbios neuropsiquiátricos;
- Sintomatologia asmática;
- Odor e gosto desagradáveis.

Podem também considerar-se as doenças relativas ao edifício, identificadas pelo termo “Building Related Illness” (BRI), que estão associadas a uma infecção verdadeira, e não temporária, dos utilizadores dos edifícios. As doenças relativas ao edifício podem ser detectadas por testes laboratoriais e são causadas por microrganismos, tais como bactérias, vírus e fungos (Hansen, 1991).

Existe uma diferença subtil entre os dois termos utilizados (SBS e BRI). Um edifício que possui a SBS não provoca doenças, ele contribui no sentido de agravar males de pessoas predispostas ou, como já referido, de provocar um estado de doença transitório em algumas pessoas.

Uma pessoa asmática por exemplo, ao entrar em um edifício doente, provavelmente sentirá uma irritação no sistema respiratório enquanto permanecer no local. Já edifícios que possuam a BRI podem provocar doenças, tais como: asma, infecções bacteriológicas, virais ou por fungos. Estas doenças estão directamente relacionadas às condições do edifício.

A diferença chave entre os dois termos acima citados é que os contaminantes específicos da SBS podem não ser conhecidos. Ela é diagnosticada quando as queixas e os sintomas estão claramente associados à ocupação do edifício, mas nenhum agente causador pode ser positivamente identificado. As queixas são frequentemente resolvidas pelo aumento da ventilação, por um controle ou substituição mais efectivos das prováveis fontes de poluentes e pela melhoria da manutenção. Em quase todos os casos, BRI é um estágio avançado da SBS.

A sujidade, poeira, humidade e água estagnada, típicos da manutenção pobre que causa a SBS, tornam o local ideal para a reprodução de microrganismos. Algumas vezes, o problema da SBS pode ser atenuado simplesmente pelo aumento do fornecimento de ar fresco, contudo, de acordo com CUELL (1993), este procedimento não irá resolver o problema da BRI. É altamente improvável que um edifício atinja sem antes passar pela SBS.

As fontes

Os seres humanos estão constantemente expostos a ambientes no interior dos edifícios com variadíssimas concentrações de poluentes. Estes poluentes podem ser originados por fontes interiores ou exteriores. Algumas destas origens são os sistemas AVAC, o ar exterior, as relações inter-espacos, os materiais de construção, o mobiliário e as actividades e comportamento dos ocupantes, por exemplo a regularidade com que abrem as janelas.

Importa ter presente no entanto, que as razões de uma má qualidade do ar são inúmeras. Enumeram-se, por isso, de seguida algumas que se consideram mais importantes:

- as novas técnicas de construção: os edifícios estão cada vez mais estanques, utilizando-se cada vez mais elementos duplos, o que diminui a ventilação e o facto de a construção estar cada vez mais rápida, diminuindo o tempo de secagem dos materiais, aumentando desta forma a humidade e as emissões de poluentes pelos materiais (Silva, 2008);
- o uso de novos materiais na construção: o aumento de aditivos no fabrico para melhorar certos aspectos dos produtos, bem como o crescente aumento do uso de materiais sintéticos aumentam as emissões de poluentes (Silva, 2008);
- o uso de produtos de manutenção / limpeza: a grande maioria destes produtos provoca efeitos bastante nefastos no ar interior, e grande parte dos utilizadores não estão sensibilizados para o

problema nem têm conhecimento sobre quais os melhores produtos a escolher ou quais os componentes a evitar (Silva, 2008);

- as actividades dos ocupantes: cozinhar, aspirar, a lavagem e secagem de roupa, a utilização de instalações sanitárias, ou até o próprio metabolismo dos ocupantes (Silva, 2008);
- os sistemas de AVAC: embora sejam concebidos para melhorem a qualidade do ar, quando mal projectados, as tomadas de ar podem localizar-se perto de fontes de poluentes, fazendo com que o ar insuflado tenha má qualidade. Para além disso quando têm uma manutenção insuficiente, estes sistemas acabam por, ao contrário da sua função, ser fontes de contaminantes.

Um dos problemas associados a uma má manutenção dos sistemas AVAC está relacionado com as condensações que podem ocorrer no interior destes. Estas condensações, poderão, com o passar do tempo provocar o aparecimento de fungos e bactérias, que poderão, para além de danificar os sistemas, ser transportados para o interior através da insuflação.

- o fumo de tabaco: este é talvez a pior de todas as origens da má qualidade do ar. Estima-se que uma típica mistura de compostos existentes no ar interior possua cerca de 6000 compostos, dos quais, 500 são bioefluentes humanos, 500 são provenientes dos materiais e equipamentos dos edifícios e cerca de 5000 provêm do fumo do tabaco (Wargocki, 2009).
- a combustão de aparelhos a gás: a combustão destes equipamentos liberta vários poluentes como dióxido de carbono, monóxido de carbono, partículas suspensas, etc.;
- contaminação microbiológica: pode ter origem em condições inadequadas de temperatura e humidade, entre outros (Carmo, 1999).

Os poluentes

São vários os componentes que existem no ar e que podem afectar de forma negativa a qualidade do ar. Na Tabela 2.16 apresentam-se os principais poluentes, as suas causas e os seus efeitos na saúde dos utilizadores.

Dentro de todos os poluentes referidos na Tabela 2.16 há alguns aos quais tem sido dada mais importância, tal como o dióxido e o monóxido de carbono, o formaldeído, os compostos orgânicos voláteis, o ozono, as partículas suspensas no ar, o radão e as bactérias, fungos e legionela (Raw, 1997).

No que diz respeito aos poluentes encontrados no interior dos edifícios, a regulamentação Portuguesa, para os edifícios de serviços (RSECE) impõe limites regulamentares para as partículas PM_{10} , o dióxido de carbono, o monóxido de carbono, o ozono, o formaldeído, os compostos orgânicos voláteis, o radão, as bactérias, os fungos e, por último, a legionela.

O dióxido de carbono (CO_2) é um gás incolor, inodoro e não inflamável, produzido por um processo de combustão completa de combustíveis fósseis e também por processos metabólicos (Carmo, 1999).

As principais fontes internas de dióxido de carbono são: fogões a gás, aquecedores que utilizem processos de combustão, seres humanos e animais de estimação (Carmo, 1999).

O dióxido de carbono (CO_2), apesar de por si só não causa problemas de saúde, o seu estudo tem interesse na medida em que é um bom indicador da qualidade do ar interior, permitindo verificar a adequabilidade do sistema de ventilação. Pode ainda ser usado para gerar suspeitas acerca da acumulação de outros poluentes internos. Para tal, baseia-se no princípio de que caso o sistema de ventilação, aquecimento e ar condicionado não seja capaz de remover o CO_2 do espaço, então há fortes possibilidades de outros poluentes também não serem removidos, acumulando-se no interior dos edifícios (Carmo, 1999).

Tabela 2.16 - Relação entre os poluentes, as suas fontes e os seus efeitos (APA, 2009; Almeida, 2006; Araújo, 2007)

Poluentes	Principais fontes	Efeitos na saúde
Formaldeído	Desinfectantes, produtos derivados da madeira, isolantes térmicos, colas, pinturas, adesivos, fumo de tabaco, têxteis (carpetes, tapetes) produtos de combustão, ambientadores, velas perfumadas, fumo do tabaco	Irritação olhos, pele e vias respiratórias, problemas respiratórios, náuseas e vômitos, alergias, neoplasia, alterações neurológicas (dores de cabeça, fadiga, depressão)
Dióxido de Carbono	Contaminação exterior, ocupantes, fumo de tabaco, processos de combustão, metabolismo humano	Distúrbios no sistema nervoso central, no sistema cardiovascular, nos ossos e nas vias respiratórias, dores de cabeça
Monóxido de Carbono	Contaminação exterior, combustão incompleta sem exaustão, fumo de tabaco	Dores de cabeça, sonolência, redução das capacidades físicas, doenças cardiovasculares
Benzeno	Produtos derivados da madeira, fumo de tabaco, contaminação exterior	Cancerígeno
Naftaleno	Fumo de tabaco, naftalina	Irritação olhos, problemas respiratórios
Radão	Granito (terreno ou rochas por baixo do edifício, materiais de construção)	Aumenta o risco de cancro no pulmão, neoplasia
Ozono	Contaminação exterior, fotocopiadoras, impressoras a laser, reacções fotoquímicas, filtros electrónicos	Irritação das vias respiratórias, olhos, pele, dores de cabeça, problemas no coração, fibrose pulmonar
Partículas suspensas no ar	Contaminação exterior, combustões, aparelhos de AVAC, fumo de tabaco, papel, tintas, fibras dos testeis	Irritação das vias respiratórias, olhos, cancro, bronquite, asma, transmissão de doenças
Bactérias, fungos, legionela	Aparelhos AVAC, materiais de construção e decoração, alcatifa e os ocupantes	Alergias, infecções, Rinite, Asma
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Mobiliário, material de escritório, plastificantes, solventes, tintas, resinas, detergentes, colas, placas de vinil produtos de higiene pessoal e cosmética, aerossóis	Irritação da garganta, dores de cabeça, distúrbios visuais, Leucemia
Óxidos de Azoto	Combustão incompleta, fumo de tabaco	Irritação e distúrbios no sistema respiratório, irritação dos olhos
Dióxido de Enxofre	Produtos de combustão	Irritação das vias respiratórias, problemas no coração
Vapor de água	Metabolismo, cozinha, secar a roupa	Desenvolvimento de fungos e bolores
Amianto	Isolantes térmicos	Cancro no pulmão, tumores gástricos
Amónia	Plastificantes, solventes, tintas, detergentes, colas e produtos de higiene pessoal	Irritação da pele e das mucosas
Pólenes	Árvores, flores, erva	Alergias

No entanto, é necessário algum cuidado com esta dedução, uma vez que a sua baixa concentração de CO₂ não implica que não exista um poluente com concentração elevada no espaço. Refere-se ainda o facto de não se poder confiar apenas numa medição de CO₂ uma vez que este pode sofrer variações temporais significativas existindo o perigo dessa medição não ser representativa das condições reais.

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e insípido, o que dificulta a sua detecção. É um subproduto da combustão de materiais que contêm carbono em locais com deficiência de oxigénio (combustão incompleta) (Carmo, 1999).

Dada a sua densidade próxima da densidade do ar, tem facilidade de se espalhar no ambiente interior. A inalação deste poluente tem implicações tóxicas, entrando no organismo através dos pulmões e passando para o sangue, reduzindo a capacidade de transporte de oxigénio, afectando o sangue e o coração, o que leva num caso extremo a morte por asfixia. Os sintomas mais comuns nos ocupantes, aquando da existência deste poluente são: dores de cabeça, cansaço, problemas de concentração, mal-estar, tonturas, vómitos e sonolência (Almeida, 2009).

Os compostos orgânicos voláteis, COV, são todos os compostos orgânicos que têm na sua constituição hidrogénio e carbono e que volatilizam à temperatura ambiente. Podem ser inócuos ou altamente tóxicos, dependendo do tipo e da concentração (Almeida, 2006).

Um COV pode reagir com outro e fazer com que os efeitos na saúde se agravem. Ou seja, estes gases juntos apresentam um efeito pior do que a soma dos efeitos de cada COV em separado (Carmo, 1999).

Como fontes no interior dos edifícios podem destacar-se as seguintes: materiais plásticos, fumo de tabaco, ceras para o pavimento, produtos de limpeza, processos associados à combustão e fotocopiadoras. No que diz respeito aos sintomas relacionados com a presença deste poluente pode destacar-se: cansaço, dores de cabeça, tonturas, fraqueza, sonolência e irritação de olhos e pele, podendo provocar doenças respiratórias, asma e alergias.

O formaldeído (CHOH) é um dos compostos pertencentes ao grupo dos aldeídos, que se inclui na família dos compostos orgânicos voláteis (COV), sendo, no entanto, normalmente separado destes, dada a sua importância/frequência com que aparece e da sua elevada toxicidade. (Carmo, 1999)

Dada a sua elevada solubilidade em água, pode irritar os olhos, na garganta e no nariz. Pode ainda provocar destruição do revestimento do nariz, impedindo-o de reter partículas do ar e micróbios, entre outras doenças respiratórias.

São um produto químico usado para elaboração de outros produtos químicos, materiais de construção e produtos de limpeza. Este poluente é normalmente introduzido no edifício durante a construção, fazendo parte da constituição de espumas de isolamento, madeiras compensadas, adesivos, colas, conservantes de algumas tintas e cosméticos. Durante a fase de utilização estes podem ainda ter origem no fumo de cigarro, nos combustíveis ou na confecção de alimentos (Carmo, 1999).

A sua emissão decresce com o tempo sendo particularmente importante nos primeiros três meses (Almeida, 2006).

Este poluente é influenciado pela temperatura e humidade relativa. A emissão deste poluente aumenta com o aumento da temperatura, é directamente proporcional à humidade.

As partículas suspensas no ar são uma mistura física e química de diversas substâncias presentes em suspensão no ar. Representam a forma mais visível de poluição do ar. Podem ter diâmetros compreendidos entre 0,1 e 100µm e podem transportar fungos, vírus e bactérias. (Almeida, 2006).

As partículas (PM) têm como principal fonte o exterior. No que diz respeito às fontes de partículas geradas no interior das habitações, pode destacar-se: cozinhar, aspirar, fumar e o uso de velas (Silva, 2008). Quando inaladas, as partículas depositam-se mediante o seu diâmetro em na zona superior, na traqueia ou na zona pulmonar.

As partículas PM_{10} de um modo geral não são retidas no nariz e traqueia, entra nos pulmões penetrando-o, podendo provocar doenças cardiovasculares (Lisboa, 2006). Na Figura 2.34 apresentam-se as dimensões das partículas.

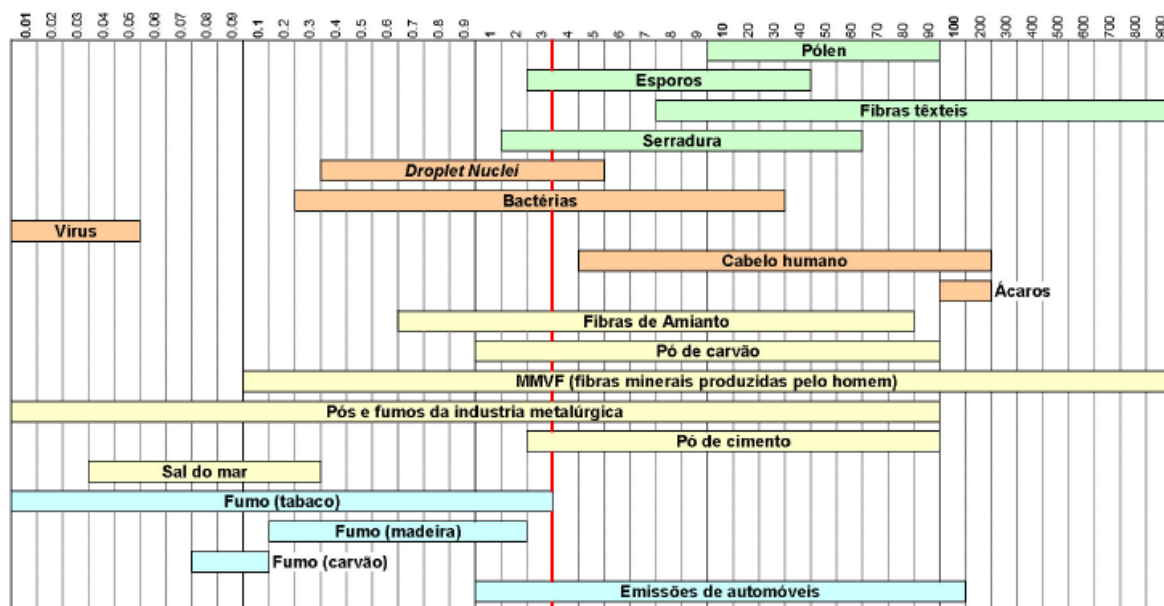


Figura 2.34 – Dimensões dos aerossóis (Fonte: Lisboa, 2006)

O ozono (O_3) é um gás à temperatura ambiente, altamente radioactivo e oxidante que pode reagir com outros químicos existentes no ambiente interior, dando origem a produtos de reacção muito irritante (Silva, 2008; wikipedia 2, 2008).

As fontes de O_3 no interior dos edifícios são reacções fotoquímicas, fotocopiadoras, impressoras a laser e filtros electrónicos. A sua presença tem efeitos na saúde que variam de irritação das vias respiratórias, olhos e pele, dores de cabeça, problemas de coração, a fibrose pulmonar (Almeida, 2009).

O ozono forma-se quando as moléculas de oxigénio (O_2) se rompem devido à radiação ultravioleta, e os átomos separados se combinam individualmente com outras moléculas de oxigénio (Wikipédia, 2009). Na Figura 2.35 podem observar-se os valores de humidade relativa para os quais o ozono se produz mais facilmente.

Os agentes biológicos no interior dos edifícios podem ser causadores de doenças que vão desde infecções, doenças causadas por microrganismos invasores dos tecidos humanos (tuberculose, hipersensibilidade), à toxicidade.

As bactérias e os fungos são encontrados em diversas concentrações em todo o tipo de ambientes. Pessoas e animais domésticos libertam fungos e bactérias, reservatórios de água permitem o crescimento dos mesmos e o ar exterior pode igualmente transportá-los.

No ar interior, a contaminação microbiológica pode ser um problema grave, sendo que certos factores permitem o crescimento e a libertação desses agentes biológicos no ar.

Humidade relativa elevada, ventilação reduzida, edificios estanques, e sistemas de aquecimento, ventilação ou ar condicionado que possuam água ou condensação em algumas partes permitem o crescimento e a distribuição de vários microrganismos (Carmo, 1999).

De todos estes factores a humidade relativa é um dos que mais influência tem, uma vez que os microrganismos se produzem mais ou menos dependendo dos seus níveis, como se pode verificar na Figura 2.35.

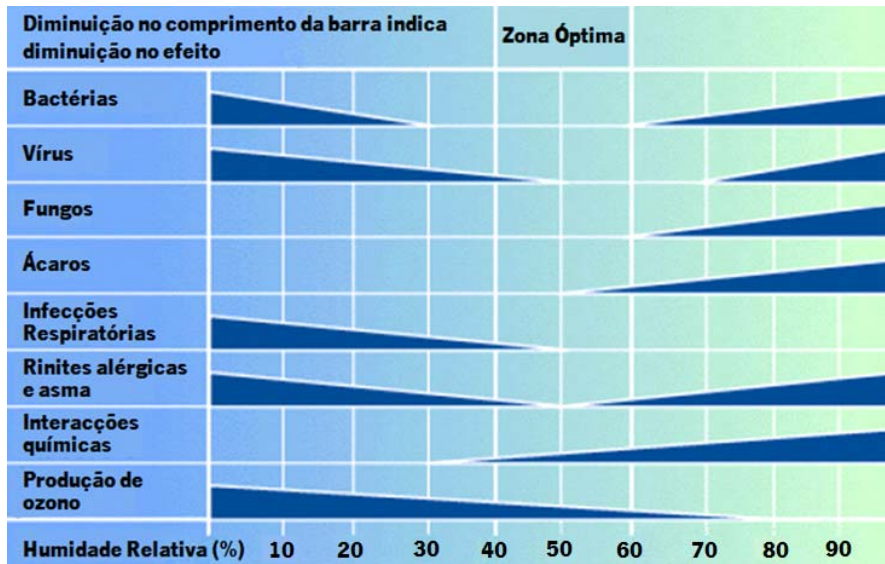


Figura 2.35 – Influência da humidade relativa na produção de bactérias (adaptado de Tuomisto, 2009)

Na Figura 2.35 verifica-se também que o intervalo para o qual existe menor risco de produção de fungos e bactérias se situa entre os 40 e os 60%.

Existem certos tipos de bactérias como a legionela são importantes do ponto de vista da qualidade do ar interior.

A legionela é uma bactéria capaz de sobreviver em ambientes adversos e por longos períodos de tempo. A legionela pneumophila é uma das mais relevantes, pois devido à sua acção patogénica, provoca pneumonias de consequências graves ou até mesmo fatal e de difícil detecção, a doença do legionário, afectando os pulmões e outros órgãos. Os primeiros sintomas são febres altas, dores musculares e de cabeça (AirControl, 2007).

Esta é por vezes encontrada em fontes luminosas, chuveiros, equipamentos de água e na água potável.

As concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios de serviços são apresentadas na Tabela 2.17, sendo estes os valores adoptados (NT-SCE-02, 2009).

Tabela 2.17 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios (NT-SCE-02, 2009)

Tipo	Parâmetros	Concentração máxima de referência	
		mg/m ³	ppm
Físico- Químicos	Partículas suspensas no ar (PM10)	0,15	-
	Dióxido de Carbono (CO ₂)	1800	984
	Monóxido de Carbono (CO)	12,5	10,7
	Ozono (O ₃)	0,2	0,10
	Formaldeído (HCHO)	0,1	0,08
	Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV _{totais})	0,6	0,26 (isobutileno) 0,16 (tolueno)
	Radão	400 Bq/ m ³	
Microbiológicos	Bactérias	500 UFC/ m ³	
	Fungos	500 UFC/ m ³	
	Legionela	100 UFC/l água	

Para além de todos os poluentes referidos e da humidade relativa há ainda outro parâmetro com influência na qualidade do ar interior: a temperatura ambiente.

O ar, a uma determinada temperatura, pode conter uma certa quantidade de vapor de água, até a um limite máximo correspondente à saturação. Quanto mais baixa for a temperatura menor será a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter.

Assim, compreende-se que para uma dada quantidade de vapor de água existente no ambiente interior de um edifício, existe um valor de temperatura abaixo do qual se começam a verificar condensações (Almeida, 2006). À ocorrência de condensações está associado o aparecimento de contaminantes bacteriológicos, como fungos ou bactérias e que poderão, como já explicado, trazer consequências bastante nefastas para a saúde dos ocupantes das habitações.

Com o aumento da estanquidade dos edifícios para reduzir os consumos energéticos, a ventilação passou a ser um parâmetro com grande importância. Assim, ao projectar um edifício é sempre necessário prever uma dada taxa de ventilação com vista a obter uma boa qualidade do ar. Deste modo, a ventilação deve ser projectada em função das fontes de poluentes interiores e exteriores, fornecimento de ar puro, remoção das cargas poluentes e actividade dos ocupantes (Silva, 2006).

O controle dos poluentes é a maneira mais eficiente de manter o ar interior limpo. No entanto, o controle de todas as fontes, ou pelo menos a mitigação das suas emissões, nem sempre é possível ou praticável. A ventilação, natural ou mecânica, é a segunda maneira mais eficaz de proporcionar condições aceitáveis da qualidade do ar interior.

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE), para edifícios com sistemas AVAC com potência superior a 25kW, estabelece os limites para a concentração de dióxido de carbono, monóxido de carbono, formaldeído, ozono, partículas respiráveis, radão, bactérias, fungos e legionela.

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) impõe a consideração de 0,6 renovações de ar por hora para o cálculo das necessidades energéticas dos edifícios habitacionais.

A norma ASHRAE[°]62 de 1999 refere os níveis mínimos de ventilação e qualidade do ar interior aceitáveis.

Ventilação

As causas para uma má qualidade do ar resultam de uma deficiente ventilação e/ou à existência de cargas poluentes elevadas quer no interior quer no exterior. Se a qualidade do ar exterior for aceitável, muitos dos problemas de qualidade do ar interior podem ser resolvidos com taxas de ventilação adequadas, uma eficiente distribuição do ar e controlando as fontes de poluição interna. Caso contrário, as medidas correctivas são mais exigentes (Green Vitruvius, 2001).

A ventilação é um dos principais factores que interferem na QAI, sendo uma das principais ferramentas no controlo da qualidade do ar.

A finalidade da ventilação de edifícios é o de melhorar as condições térmicas (arrefecimento) e a Qualidade do Ar Interior, sendo o meio principal para melhorar a Qualidade do Ar Interior, através da diluição dos poluentes e da remoção do ar poluído, substituindo-o pelo ar exterior, se este tiver melhor qualidade, caso contrário pode ser necessário filtrar o ar para ser atingida a qualidade do ar pretendida.

A ventilação é mais do que a entrada de ar exterior num edifício ou o seu movimento no interior do mesmo, pode ser definida como uma combinação de processos que resultam não só do fornecimento de ar exterior mas também na extracção do ar viciado, carregado de poluentes do interior do edifício

(Schimer, 2008). Estes processos envolvem normalmente a entrada de ar exterior, condicionamento e mistura do ar por todas as partes do edifício e a exaustão de alguma parte do ar interior.

Em geral, um aumento da taxa de ventilação conduz a uma diminuição nos problemas relacionados à qualidade do ar interior. Contudo, outros processos envolvidos na ventilação são igualmente importantes. Por exemplo, edifícios com altas taxas de renovação de ar podem ter problemas devidos a uma distribuição desigual ou irregular de ar nos diversos espaços, ou também devidos a uma exaustão ineficiente ou insuficiente.

Mas, mesmo com uma adequada ventilação, se existir uma grande concentração de poluentes provenientes de fontes existentes no interior, esta pode não ser suficiente para garantir uma boa qualidade do ar. Uma boa prática é providenciar sistemas de exaustão separados para áreas na qual existam fontes significativas de poluentes (cozinhas e instalações sanitárias, por exemplo, locais com fotocopiadoras e impressoras). Uma vez que a ventilação é tanto mais eficiente quanto mais perto o sistema de exaustão está da fonte a localização dos sistemas deve ter em consideração os focos de emissão.

Os períodos nos quais um sistema de ventilação funciona também são importantes e devem ser considerados ao programar a utilização do sistema. Como é oneroso manter um sistema de ventilação, aquecimento e arrefecimento ar ligado ininterruptamente, é uma prática comum ligá-los depois dos ocupantes do edifício chegarem e desligá-lo pouco depois que eles saíam, o que de acordo com a EPA, piora as condições internas do ar, o ideal é ligar os sistemas antes de os ocupantes chegarem aos edifícios.

Como se referiu a melhor forma de melhorar a qualidade do ar interior passa pela existência de uma ventilação adequada dos espaços (isto desde que a qualidade do ar no exterior seja melhor do que no interior). A ventilação pode ser conseguida de forma natural, através da abertura de portas e janelas, ou através de grelhas de ventilação, ou através de ventilação mecânica.

A ventilação natural ocorre através da produção de diferenças de pressão naturais entre o exterior e o interior do edifício. Se for utilizada a ventilação nocturna é necessário assegurar as condições de segurança. Nesta situação é vantajosa a utilização do efeito de chaminé, de forma a otimizar a ventilação nocturna do edifício. A ventilação mecânica ocorre através da introdução de ventiladores e condutas de admissão e exaustão.

De forma a diminuir os consumos energéticos, a ventilação natural deve ser preferida à mecânica. No entanto, a ventilação mecânica tem várias vantagens, como o facto de poder ser controlada e de solucionar problemas de QAI em edifícios que se encontram próximos a fontes de poluentes (colocando as tomadas de ar longe destas fontes, no cimo do edifício por exemplo).

Em Portugal o RCCTE define uma taxa de renovação de ar mínima de $0,6 \text{ h}^{-1}$ (RCCTE, 2006).

A normalização internacional, ASHRAE 62-99 e a CEN/CR 1752 propõem uma taxa de ventilação de $2,5 \text{ l/s.pessoa}$ para edifícios de escritórios (ASHRAE 62, 2004; CEN/CR 1752, 2003).

A regulamentação dinamarquesa define uma taxa de renovação mínima de $0,5 \text{ h}^{-1}$ (Wargocki, 2009). Recomendações dinamarquesas recomendam pelo menos 7 l/s.pessoa , 4 l/s.pessoa é o mínimo se não for permitido fumar (Wargocki, 2009). Se for um local com fumadores a taxa de renovação mínima é de 7 l/s.pessoa , sendo recomendada uma taxa de ventilação de 20 l/s.pessoa (Wargocki, 2009).

As taxas de ventilação definidas nas normas resultam assim da ponderação de diferentes preocupações, por exemplo a qualidade do ar, condições de saúde, consumos energéticos, produtividade, etc.. O processo de ponderação pode ser influenciado por factores externos (preço do crude, como por exemplo a

crise energética de 1970) e de novas descobertas da investigação (por exemplo o impacte na saúde e na produtividade).

As normas relativas à ventilação, na Europa, Estados Unidos e Canadá, tal como representado na Figura 2.36 para edifícios de escritórios, apresentam grandes variações da taxa de ventilação.

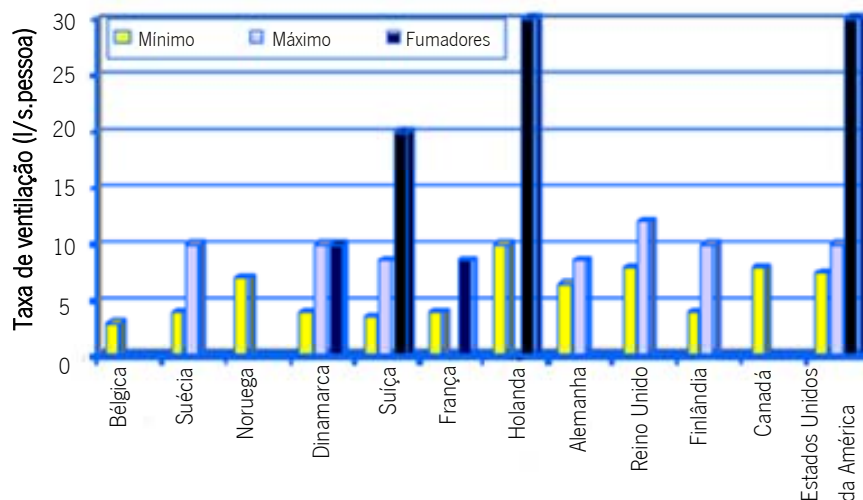


Figura 2.36 – Requisitos de ventilação, definidos na normalização internacional, por pessoa, em edifícios de escritórios (Adaptado de Wouters, 2002).

Ao longo dos anos, as normas ASHRAE 62, referenciam a taxa à qual o ar exterior deve ser introduzido no ambiente interior, em função do tipo de edifício, com base na necessidade de controle dos odores e dos níveis de CO₂, uma vez que o dióxido de carbono é um componente do ar exterior, mas pode ser produzido no interior (respiração dos ocupantes) e o seu excesso e a sua acumulação no interior, pode indicar uma ventilação inadequada. As exigências de ventilação têm variado ao longo do tempo, tal como mostra a Figura 2.37 para o caso da norma ASHRAE 62 “Ventilation for indoor air quality” (Hanssen, 2002; Wouters, 2002).

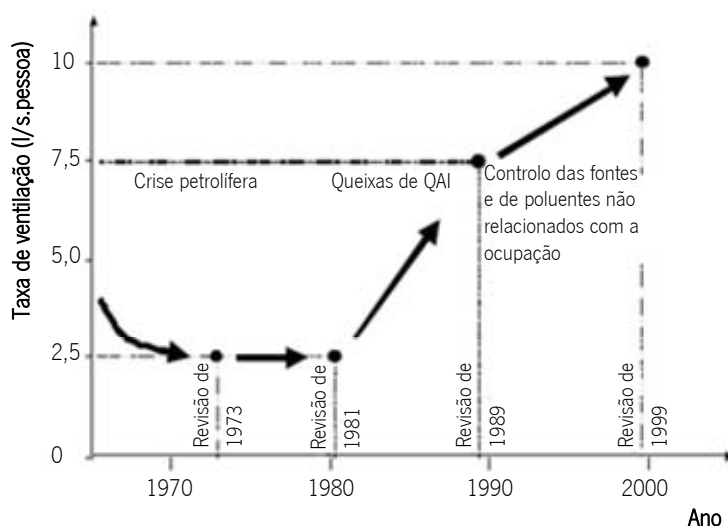


Figura 2.37 – Evolução das exigências de ventilação na ASHRAE 62-1989. “Ventilation for indoor air quality” (Adaptado de Hanssen, 2002)

Em muitos casos, estas taxas reduzidas de fornecimento de ar, usada para diluir os poluentes e remover odores originários do metabolismo humano, foram inadequadas para manter a saúde e o conforto dos ocupantes, e, tal como já referido, uma ventilação inadequada é uma das causas da síndrome dos edifícios doentes (Hensen, 1991).

Para providenciar taxas de renovação de ar adequadas e em concordância com a necessidade de economia de energia, a ASHRAE reviu os padrões de ventilação para 7,5 l/s.ocupante em 1989 e de 10 l/s.ocupante em 2000.

A norma ASHRAE 62.2-2004, “Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings”, define as regras e os requisitos mínimos para a ventilação natural e sistemas de ventilação mecânica e para a envolvente do edifício de modo a assegurar a qualidade do ar interior. Esta norma destina-se a edifícios residenciais, unifamiliares e multifamiliares. Um dos pontos fulcrais da norma é o “controlo na fonte” dos poluentes, retirando-os do interior dos edifícios e evitando que estes se espalhem pelos espaços ocupados. Em conjugação com a exaustão local dos poluentes (em cozinhas e instalações sanitárias), deve garantir-se a ventilação global do edifício de forma a renovar o ar interior e diluir os poluentes que não podem ser controlados na fonte, por exemplo o dióxido de carbono produzido pelos ocupantes.

A definição da taxa de ventilação é feita em função da área de pavimento e do número de quartos, de 1 a 5. A Figura 2.38 mostra os requisitos de ventilação para as diferentes situações, sendo visível que à medida que a área de pavimento aumenta as diferenças relativas às exigências de ventilação diminuem.

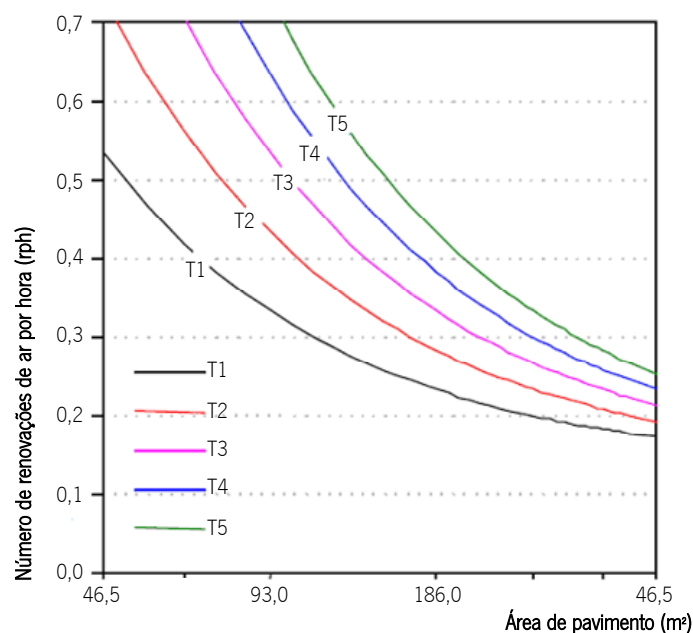


Figura 2.38 – Exigências de ventilação Segundo a norma ASHRAE 62.2 (Adaptado de Sherman, 2005)

Estando relacionada com a qualidade do ar interior a ventilação poderá também estar relacionada com a produtividade e o desempenho dos utilizadores dos edifícios, além do conforto.

Como mostra a Figura 2.39, o número de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior diminui com o aumento da taxa de ventilação, sendo definidas três categorias, A, B e C usadas no Relatório Técnico CEN – CR 1752 (CEN, 1998). Para a categoria A a taxa de renovação de ar (10 l/s.pessoa) é 2,5 vezes superior à taxa de renovação definida para a categoria C (4 l/s.pessoa).

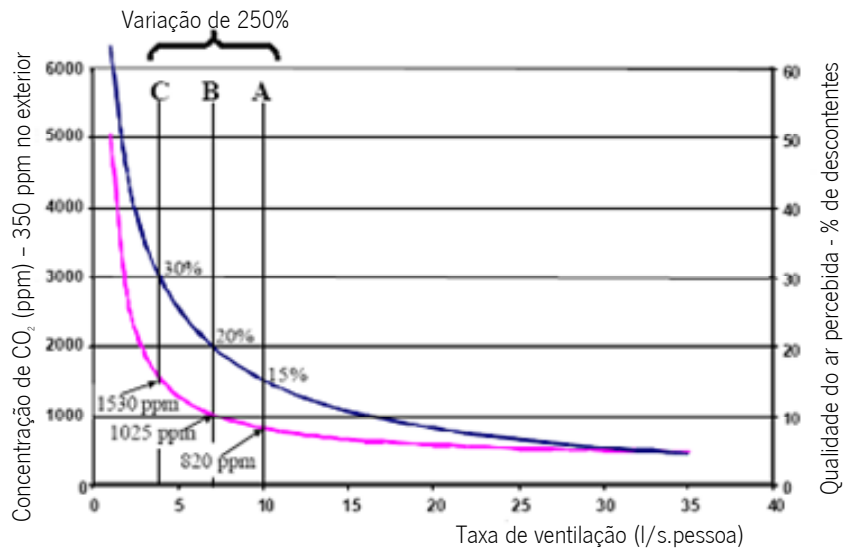


Figura 2.39 – Valores limite de concentração de CO₂ usadas no Relatório Técnico CEN / CR 1752 de 1998 (Adaptado de Hanssen, 2002)

A análise de 20 estudos realizados em edifícios de escritórios, envolvendo 30000 indivíduos, avaliou a relação entre a taxa de ventilação e a resposta humana de percepção e sintomas (Seppänen et al, 1999). Quase todos os estudos descobriram que taxas de ventilação inferiores a 10 l/s.pessoa, em todos os tipos de edifícios, estavam associados com agravamento estaticamente significativo num ou mais dos parâmetros relacionados com a saúde ou com a percepção da qualidade do ar (Hanssen, 2002). Alguns estudos mostraram que um aumento da taxa de ventilação de 10 l/s.pessoa, para cerca de 20 l/s.pessoa, estavam associados com reduções significativas nos sintomas ou com melhorias significativas na qualidade do ar percebida.

Estudos efectuados em escritórios na Dinamarca, mostraram que quanto maior era a ventilação de um local, maior era a produtividade dos trabalhadores, como se mostra na Figura 2.40 (Wargocki, 2009).

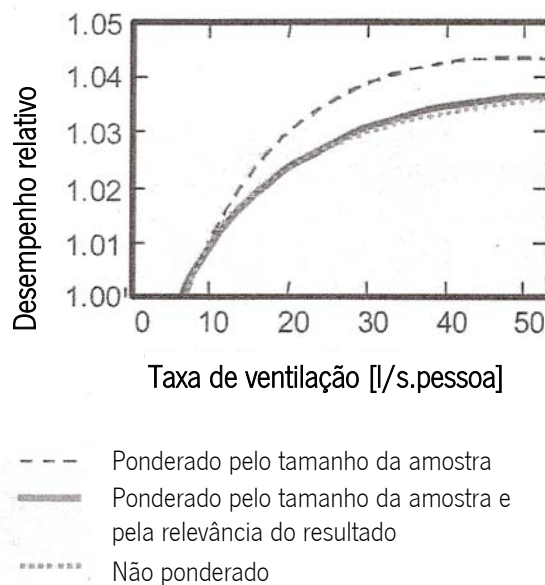


Figura 2.40 – Produtividade como função da taxa de ventilação em relação ao desempenho com uma taxa de ventilação de 6,5 l/s.pessoa (Adaptado de Seppänen et al., 2006; Wargocki, 2009)

A ventilação é um meio essencial para a manutenção da qualidade do ar interior, sendo responsável pela diluição e remoção dos poluentes. Dentro dos tipos de ventilação existentes, a natural é a mais atractiva dada a sua economia energética e financeira.

É necessário assegurar uma taxa de ventilação capaz de garantir as condições necessárias para proteger os ocupantes dos edifícios (escritórios, escolas, residências, etc.) de problemas de saúde, de desconforto e de falta de produtividade. No entanto taxas de ventilação elevadas tendem a aumentar os consumos energéticos dos edifícios.

Uma alternativa ao aumento da taxa de ventilação é a redução e controlo das fontes de poluentes no ar interior, através de, por exemplo, a adequada manutenção dos sistemas de climatização (AVAC) e da redução das fontes de poluentes interiores. A utilização de sistemas de ventilação com recuperador de calor é outra possibilidade para reduzir os consumos energéticos devido à ventilação dos espaços (Hanssen, 2002).

Além da definição das taxas mínimas de ventilação dos espaços, de forma a assegurar a qualidade do ar interior, podem também ser adoptados critérios de desempenho, por exemplo concentração de contaminantes, como por exemplo as normas para a qualidade do ambiente (National Ambient Air Quality Standards) definidas pela EPA como requisitos da Clean Air Act dos Estados Unidos (EPA). Estas normas são difíceis de implementar devido à dificuldade de medir um grande número de diferentes potenciais contaminantes.

São várias as acções que se podem pôr em prática de forma a melhorar a qualidade do ar, entre estas, podem-se destacar as seguintes:

- garantir uma correcta manutenção dos sistemas de climatização. Esta é uma acção importante no combate à má qualidade do ar, uma vez que, quando os sistemas de climatização não são mantidos em condições adequadas, acabam por, ao contrário do objectivo para que foram construídos, tornar-se numa fonte de poluentes (Fernandes, 2008);
- utilizar materiais, produtos e equipamentos pouco poluentes. No caso dos equipamentos deve evitar-se por exemplo os equipamentos a gás, utilizando, em vez destes equipamentos eléctricos, por exemplo;
- localizar correctamente as entradas de ar dos edifícios, longe de focos de poluição exterior;
- proibir de fumar no interior dos edifícios. Sendo o fumo de tabaco um dos principais responsáveis pela poluição do ar no interior de edifícios, esta medida, tão fácil de ser aplicada, poderá melhorar substancialmente a QAI. Em Portugal, esta medida, já se encontra contemplada na legislação, para o caso dos edifícios de serviços;
- alterações dos hábitos dos habitantes. Estas alterações poderão passar, a título de exemplo pela abertura de janelas com maior frequência, pela utilização do exaustor sempre que se cozinha, pela colocação dos produtos de limpeza num local isolado e bem ventilado, entre outras;
- substituição de materiais utilizados na decoração ou de produtos de limpeza.

2.3.2.4. Radiação ionizadora

As fontes de radiação ionizadora, como o caso do Radão, têm vindo a ser estudadas, sendo definido no RSECE a necessidade de avaliação da sua concentração em locais graníticos.

O radão é um elemento químico que à temperatura ambiente se encontra no estado gasoso. É um elemento sem cor, odor ou paladar que ocorre com o decaimento do rádio e que se encontra nas rochas e nos solos. A sua infiltração nas casas dá-se geralmente através das fundações.

Em Portugal as zonas onde este aparece em maior concentração são: Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco. É também nestas zonas que o Decreto-lei 79/2006 obriga o seu estudo.

Em concentrações significativas no ambiente, este elemento incorpora-se nos pulmões por inalação. As partículas emitidas pelo radão são altamente ionizantes, no entanto, têm baixo poder de penetração, o que ainda torna o seu efeito mais gravoso já que não é possível libertar essas partículas do organismo, podendo causar lesões e patologias no mesmo (wikipedia (3), 2009). O efeito na saúde causado por elevados níveis de radão é o cancro do pulmão, cerca de 9% de incidência (Gallo, 2009).

2.3.2.5. Ambiente estético / visual

O ambiente estético / visual é um aspecto importante para a qualidade do ambiente interior.

A geometria dos espaços do edifício afecta a forma como as pessoas reage aos compartimentos. Um pé-direito elevado dá a sensação de espaços amplos, mas pode também intimidar, um pé-direito reduzido pode dar a sensação de intimidade ao espaço. A geometria dos espaços afecta também a temperatura ambiente e a circulação de ar nos compartimentos. O pé-direito elevado pode permitir a estratificação do ar, e o ar a temperatura mais elevada encontra-se acima da zona habitada, que estará a uma temperatura mais baixa.

A cor é também importante para o conforto visual do espaço, uma vez que os ocupantes reagem às cores com sensações e emoções, podendo a cor também ser usada para alterar a percepção dos espaços (por exemplo uma cor escura no tecto faz com que pareça mais baixo). As cores têm também impacte no contraste da iluminação, que se for muito elevado, pode causar desconforto.

A cor é um aspecto integrante do projecto de iluminação, cores claras reflectem a luz e podem reduzir o número e potência dos sistemas de iluminação necessários para assegurar o nível de iluminação necessário para o espaço. Tectos pintados com cores claras, em conjugação com palas reflectoras podem permitir que a iluminação natural penetre em profundidade no compartimento.

A comunicação visual com o exterior (paisagem) permitida pelos envidraçados pode alterar a forma como as pessoas reagem ao ambiente interior. A possibilidade de comunicar com o exterior pode fazer as pessoas sentirem-se menos enclausuradas, o que afecta de forma positiva o seu desempenho. A observação de áreas ajardinadas, vegetação e água (lagos e fontes) é também vantajosa para a sensação de conforto do ambiente interior, no entanto a possível distracção causada pode também reduzir o desempenho, em especial em salas de aulas.

2.3.2.6. Electricidade estática

A electricidade estática pode ser um critério importante em ambientes onde a humidade relativa é baixa e em edificios com equipamentos electrónicos, não sendo relevante para os consumos energéticos dos edificios.

2.4 O Ambiente Envoltente e Os Consumos Energéticos dos Edifícios

Os edificios são os maiores consumidores de energia das cidades (Santamouris, 2005). Dados referentes aos consumos de energia de várias cidades europeias mostram que os consumos de energia final do sector residencial variam entre 48% em Copenhaga e 28% em Hanôver (Bose, 1990; Stanness, 1995; Bourdeau, 1995). Ao mesmo tempo, os edificios comerciais são responsáveis por 20% a 30% do consumo de energia final nas cidades (Santamouris, 2005).

Os consumos energéticos definem a qualidade de vida nos centros urbanos e a qualidade ambiental das cidades, estando a energia relacionada com todos os aspectos de desenvolvimento e tendo um grande impacto no bem-estar da população urbana: na saúde, na educação, na produtividade e nas oportunidades económicas (Santamouris, 2005). Assim, a energia é o motor mais importante para aumentar a qualidade de vida e combater a pobreza (Santamouris, 2005).

As importações de energia são uma das maiores fontes de débito externo dos países (Santamouris, 2005).

Tal como referido durante a cimeira de Joanesburgo em 2002 (Cimeira de Joanesburgo, 2002; Saghir, 2002) "em mais de 30 países, a importação de energia excede 10% do valor das todas as exportações" e, "em cerca de 20 países, o pagamento das importações de produtos petrolíferos excede a amortização da dívida externa (Santamouris, 2005).

É então necessário usar formas de energia alternativas. A utilização de fontes de energia renovável em combinação com tecnologias eficientes em termos energéticos pode contribuir para o aumento da qualidade de vida dos países menos desenvolvidos e pode contribuir de forma significativa para reduzir o elevado consumo de recursos nos países desenvolvidos (Santamouris, 2005).

Uma estimativa do US Office of Technology Assessment mostra que os países em desenvolvimento podem ter o potencial de reduzir para metade a sua produção de electricidade se a energia for utilizada de forma mais eficiente (Santamouris, 2005). A ventilação e, em particular, a ventilação natural é uma dessas tecnologias.

A ventilação natural não deve ser vista como apenas uma alternativa à utilização de ar-condicionado (pois isto só é válido para uma pequena parte da população mundial) (Santamouris, 2005). A ventilação natural é um instrumento eficaz para melhorar a qualidade de vida em zonas urbanas, proteger a saúde, aumentar o conforto térmico e para reduzir os consumos energéticos desnecessários (Santamouris, 2005).

A maior parte das actividades humanas desenrolam-se no interior dos edifícios, deste modo a qualidade das construções, em todos os seus aspectos são essenciais para o conforto global dos indivíduos (Viegas, 1995).

Assim, estando os seres humanos em espaços fechados a qualidade do ambiente interior é essencial, sendo assim necessário ter especial atenção à Qualidade do Ar Interior, ao conforto higrotérmico, acústico e visual.

Ao sector dos edifícios correspondem 40 a 50% dos consumos de energia a nível mundial, sendo este sector, na União Europeia, responsável por 40% dos consumos energéticos e por cerca de 30% em Portugal, devido ao clima ameno e à tradicional falta de climatização dos edifícios, em especial dos residenciais (Directiva 2002/91/CE, 2002; DGGE, 2004; Gonçalves, 2005; Guia EdSust, 1999; Maldonado, 2005).

Ainda assim, e uma vez que em Portugal os edifícios são responsáveis por 58% dos consumos de electricidade, é necessário controlar os gastos energéticos neste sector, ao mesmo tempo que se mantêm ou aumentam as condições de conforto no seu interior (higrotérmico, acústico, lumínico e a qualidade do ar) (DGGE, 2004; Gonçalves, 2005).

O sector residencial é responsável por 13% do consumo de energia final, correspondendo 25% a iluminação e a equipamentos domésticos (sendo os equipamentos em stand-by, tais como televisões, hi-fi) responsáveis por 3 a 13% dos consumos de energia nos edifícios), 25% a aquecimento e arrefecimento ambiente e 50% à produção de Água Quente Sanitária (AQS) (Gonçalves, 2005; Maldonado, 2005).

Os edifícios de serviços são, por seu lado, responsáveis por 9% do consumo de energia final, correspondendo 10 a 30% a iluminação, 30 a 60% a aquecimento e arrefecimento ambiente e 10 a 20% à produção de Água Quente Sanitária (AQS) (Gonçalves, 2005; Maldonado, 2005).

Apesar dos consumos energéticos em Portugal serem cerca de metade dos consumos a nível europeu as tendências levantam algumas preocupações pois (Maldonado, 2005):

- os consumos energéticos no sector dos edifícios têm crescido, desde 1995, a um ritmo constante de 7% ao ano, por mais de uma década;
- o sector não-residencial tem apresentado um crescimento médio de 9% ao ano, contribuindo de forma significativa para o aumento dos consumos energéticos;
- o sector dos edifícios consome mais de 60% de toda a electricidade em Portugal, significando este crescimento um aumento da pressão exercida na rede eléctrica, representando também uma parte significativa das emissões globais de CO₂ em Portugal e que necessitam ser controladas de modo a respeitar o Protocolo de Quioto;
- num total de 3,5 milhões de habitações, das quais mais de 2 milhões têm menos de 25 anos, tendo a maior parte sido construída com poucas preocupações em relação à sua eficiência energética e, sendo os edifícios projectados para uma duração de 50 anos, a sua contribuição para a factura energética nacional irá continuar, sendo necessário que estes sejam objecto de uma reabilitação energética, de modo a inverter esta situação;
- o crescimento do número de edifícios é de 10% ao ano, ou seja, cerca de 60000/ano;
- os edifícios com menos de 10 anos utilizam, na sua maior parte, gás natural para aquecimento, no entanto, os edifícios mais antigos usam electricidade ou GPL (Gases de Petróleo Liquefeito);
- a utilização de sistemas de ar condicionado é cada vez mais comum, com uma instalação média de 100000 unidades/ano, a partir de 1995, devendo este cenário manter-se nos próximos anos, já que devido às temperaturas mais elevadas do que o normal nos últimos Verões a venda destes sistemas aumentou;
- alguns estudos realizados nas principais cidades portuguesas mostram que o sector dos edifícios já é o maior consumidor de energia, ultrapassando o sector dos transportes, no caso de Lisboa, por exemplo, o sector dos edifícios é responsável por 46% dos consumos energéticos, sendo o sector dos transportes responsável por 42%.

A nível europeu as habitações representam dois terços do consumo total de energia em edifícios (Maldonado, 2005). Esse consumo aumenta todos os anos à medida que o nível de vida da população vai melhorando, traduzindo-se numa maior utilização dos sistemas de climatização (Maldonado, 2005; Ruck, 2005).

Na Europa, a maior parte da energia gasta no sector dos edifícios é para aquecimento, 70% do total de energia consumida nos edifícios residenciais e 55% para edifícios comerciais e de serviços, seguida da energia utilizada pelos dispositivos eléctricos e para a produção de água quente (Besant-Jones e Tenenbaum, 2001).

Desde 1970 (data da primeira crise energética) a redução dos consumos energéticos a nível mundial foi de 1% ao ano, apesar de existirem grandes diferenças de região para região (EE 164, 2003). As razões para este decréscimo prendem-se com o facto do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e a alterações nos padrões de consumo (EE 164, 2003).

O aumento do nível de vida em alguns países conduziu também à redução do consumo energético, uma vez que as populações passaram a ter acesso a tecnologias mais avançadas, onde se englobam os

edifícios mais eficientes, o uso de electrodomésticos e sistemas de iluminação mais eficientes e o aparecimento de automóveis com menor consumo ou que usam energias alternativas (híbridos) e a participação activa da indústria no controlo dos consumos energéticos, são alguns factores que levaram à melhoria do consumo energético sem, no entanto, afectar o desenvolvimento socioeconómico (EE 164, 2003).

Na Europa o principal mercado para sistemas de arrefecimento e sistemas de ar-condicionado é o sector de comércio e serviços, sendo cerca de 6% dos edifícios de escritórios, de comércio ou industriais refrigerados (Broardman, 1991).

Em edifícios residenciais, a maior parte da energia gasta é utilizada para o aquecimento ambiente. Os equipamentos convencionais mais comuns, utilizados no aquecimento de água são os esquentadores e caldeiras murais a gás e os termoacumuladores a gás e eléctricos. Estes aparelhos são responsáveis por cerca de 50% do consumo de energia no sector doméstico, com o correspondente peso na factura energética mensal das famílias (DGGE, 2004).

Verifica-se que as perdas através da envolvente são responsáveis por menos de 1% das necessidades energéticas dos escritórios, sendo os maiores consumos energéticos devidos à iluminação e ao aquecimento, o que mostra a importância da optimização da iluminação natural (Maldonado, 2002).

Deste modo o conforto lumínico, que é maior se a iluminação for conseguida de modo natural, traduz-se também numa economia de energia (não só a gasta com os dispositivos de iluminação, mas essencialmente com a carga térmica que introduz no edifício), podendo assim ser contabilizada em termos económicos e não apenas ao nível da satisfação dos utentes (Santos, 2001).

No Norte da Europa, em geral, não existem necessidades de arrefecimento. No Sul da Europa, uma envolvente cuidada, com dispositivos de sombreamento eficientes e com ventilação dos espaços eficaz, pode ser suficiente para garantir a necessidades de arrefecimento de edifícios de inércia térmica forte.

No entanto tem havido um aumento da construção de edifícios de inércia térmica média ou fraca, principalmente em edifícios de comércio e serviços, o que juntamente com maiores o crescimento da capacidade económica das populações, nos países desenvolvidos, em conjugação com o desenvolvimento dos sistemas de ar-condicionado, cada vez mais pequenos e mais fáceis de instalar por pessoal minimamente qualificado, sem exigirem alterações significativas nos edifícios e de fácil controlo por parte dos utentes, pode conduzir à existência de necessidades de arrefecimento que em alguns países, ultrapassam mesmo as necessidades de aquecimento, tendo tido um aumento exponencial, em alguns casos, o que não acontecia antigamente, nas construções de inércia térmica forte (EE 152, 1999).

Mesmo em países em que a estação de arrefecimento é de curta duração e não se atingem temperaturas muito altas (como é o caso dos países do Norte da Europa) a exigência de conforto tornou o arrefecimento habitual (EE 152, 1999).

A consequência imediata do aumento da procura de sistemas de ar-condicionado para arrefecimento no Verão foi o aumento do consumo de energia eléctrica nesta estação, no sector doméstico (EE 152, 1999).

A título de exemplo, cite-se o caso da Catalunha onde o aumento dos consumos energéticos devido às exigências de conforto durante o Verão entre 1992 e 1999 foi de 65% (EE 152, 1999). Estima-se que este crescimento se mantenha, ou mesmo que aumente, nos próximos anos, se a procura continuar a crescer ao mesmo ritmo (EE 152, 1999).

Assim, é necessário reduzir os consumos energéticos reduzindo a utilização de sistemas de ar-condicionado ou reduzir os seus impactes negativos (Roaf, 2001):

- 1- projectando edifícios solares passivos de qualidade para que não necessitem, ou necessitem de sistemas de ar-condicionado em menor escala;

- 2- em climas com estações distintas, bem marcadas, como é o caso de Portugal, usando apenas sistemas de ar-condicionado quando necessário em “mixed mode system”;
- 3- usando sistemas de ar-condicionado com controlo que sigam as temperaturas diárias e sazonais, reduzindo assim os consumos energéticos até 50% e sem ao mesmo tempo reduzirem as condições de conforto, utilizando um método adaptativo em vez de um método de zona de conforto fixo de modo a minimizar o consumo energético para obtenção de uma situação de conforto.
- 4- melhorando a eficiência energética e ambiental dos sistemas de ar-condicionado individuais.

Os consumos energéticos nas habitações europeias podem ser reduzidos, melhorando a qualidade dos equipamentos, substituindo cerca de 10 milhões de caldeiras com têm mais de 20 anos existentes na Europa, o que permitirá economizar 5 % da energia utilizada no aquecimento, através da utilização de sistemas de iluminação natural adequados e integrados com sistemas de iluminação artificial mais eficientes, bem como com sistemas de sombreamento, possibilitando o controlo por parte dos ocupantes, para a iluminação de escritórios, edificios comerciais e instalações de lazer, economizando 30% a 50% da energia eléctrica utilizada na iluminação e a utilização de equipamentos de ar condicionado que obedeçam a normas mais rigorosas, permitindo a economia de metade do aumento previsto para o consumo de energia por estes sistemas (que, segundo as previsões, duplicará até 2020) (Maldonado, 2005; Ruck, 2005).

A utilização de colectores solares, em larga escala, poderá contribuir para a redução substancial dessa factura e do peso do sector no balanço energético global. Por outro lado, a energia solar é um recurso endógeno gratuito que pode proporcionar uma importante poupança para os seus utilizadores e contribuir para a redução das emissões de CO₂.

O potencial disponível em Portugal para aproveitamento de energia solar para aquecimento de água é significativo.

De acordo com estudos recentes², no nosso país poderiam ser instalados no sector doméstico cerca de 7 500 000 m² de colectores solares, proporcionando cerca de 4900 GWh/ano de energia útil (ADENE, 2002). Mesmo que apenas 1/3 desse potencial seja concretizado até 2010, esse resultado já permitirá reduzir em 150 000 tep a dependência energética portuguesa de recursos fósseis provenientes de outros países e evitar a libertação de 620 kton eq de CO₂ (1% das emissões de 1990) (ADENE, 2002).

Em Portugal, a disponibilidade do recurso solar é elevada, situando-se bem acima da média Europeia (o número médio anual de horas de Sol em Portugal é de aproximadamente 2 500 horas) (ADENE, 2002). Ao contrário do que é comum pensar-se, a variação da radiação solar útil entre o Sul e o Norte de Portugal (aproveitada por um sistema solar para aquecimento de águas) não é significativa, cifrando-se em apenas 18% de diferença entre Porto e Faro (ADENE, 2002).

Embora seja um dos países da Europa com maior incidência de radiação solar, cerca de três mil horas de sol por ano em algumas regiões, verifica-se que Portugal tem uma reduzida utilização desta fonte de energia, cujo potencial foi estimado em 2001, pelo Grupo "Energia Solar Térmica" do Fórum Energias Renováveis em Portugal, em 2,8 milhões de m² de colectores solares (ADENE, 2002).

Em finais desse mesmo ano, através da Resolução do Conselho de Ministros n^o 154/2001, de 19 de Outubro, foi lançado o programa Eficiência Energética e Energias Endógenas, Programa E4, o qual reúne um conjunto de medidas para melhorar a eficiência energética e o aproveitamento das energias

² Fórum "Energias Renováveis em Portugal" - Uma contribuição para os objectivos de política energética e ambiental, ADENE/INETI, Dezembro 2002.

renováveis em Portugal, entre as quais a promoção do recurso a colectores solares para aquecimento de água, quer nos sectores residencial e serviços, quer na indústria: programa Água Quente Solar para Portugal (AQSpP).

A instalação de cerca de 150 000 m² por ano conduzirá à meta de 1 milhão de m² de colectores instalados e operacionais até 2010, tal como decorre das opções de Política Energética constantes na Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003, de 28 de Abril (ADENE, 2002).

Segundo a Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, é necessário utilizar de forma prudente e racional os recursos naturais, incluindo estes os produtos petrolíferos, o gás natural e os combustíveis sólidos que constituem fontes de energia essenciais e, em simultâneo, as principais fontes de emissão de dióxido de carbono (Directiva 2002/91/CE, 2002).

Esta Directiva refere também que, uma vez que o sector residencial e terciário, a maior parte constituído por edifícios, absorve mais de 40% do consumo final de energia da comunidade europeia, e se encontra em expansão, tendência que deverá vir a acentuar o respectivo consumo de energia e, por conseguinte, as correspondentes emissões de dióxido de carbono, é necessário reduzir a dependência energética dos edifícios (Directiva 2002/91/CE).

As exigências de conforto térmico tem aumentado, o que conduziu a um crescimento do consumo energético nos edifícios de cerca de 7.5% ao ano, ou seja em 10 anos duplicam-se os consumos energéticos dos edifícios (Maldonado, 2002).

Por outro lado, cada vez mais se usam materiais leves, o que conduz à construção de edifícios sem capacidade de armazenamento térmico, que têm um consumo elevado de energia, pois têm que ser climatizados todo o ano (Roaf, 2001).

É necessário reduzir estes níveis, construindo edifícios mais eficientes, ou seja com um menor consumo de energia, utilizando fontes de energia renováveis para a produção de energia, mas garantindo o conforto e a sustentabilidade dos edifícios (Maldonado, 2002).

É também necessário reduzir as emissões de CO₂ em 60% e usar menos 60% de energia em edifícios de habitação e comércio (Roaf, 2001). Em 2008 o limite para as emissões de CO₂ em Portugal será igual ao de 1990, tendo em 2001 sido atingido o limite permitido pelo Acordo de Quioto (Maldonado, 2002).

A Directiva 89/106/CEE do Conselho, de 21 de Dezembro de 1988, impõe que os edifícios e as instalações de aquecimento, arrefecimento e ventilação sejam concebidos e realizadas de modo a que a quantidade de energia necessária à sua utilização seja baixa, tendo em conta as condições climáticas do local e dos ocupantes (Directiva 2002/91/CE, 2002).

As medidas destinadas a melhorar o desempenho energético dos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas e locais, o ambiente interior e a rentabilidade económica.

A Directiva 2002/91/CE refere ainda que, uma vez que nos últimos anos, nos países do Sul da Europa, o número de aparelhos de ar condicionado tem vindo a aumentar, o que cria dificuldades de fornecimento de energia nas horas de ponta e, em consequência, um aumento do preço da energia eléctrica e a deterioração do equilíbrio energético desses países é, então, necessário dar prioridade a estratégias que contribuam para melhorar o comportamento térmico dos edifícios durante o Verão. Para tal devem implementar-se técnicas de arrefecimento passivo, em especial as que contribuem para melhorar a qualidade do clima interior e o microclima em torno do edifício (Directiva 2002/91/CE, 2002).

Segundo dados do “The building Services Research & Information Association” a instalação de sistemas de ar condicionado cresceu 20% em 1998 e 11% em 1999. Sendo o maior crescimento na Grécia, em Espanha e na Itália (Roaf, 2001).

A utilização da energia solar em larga escala, permitirá diminuir a importação de combustíveis de origem fóssil, assim como as consequências nocivas sobre o ambiente relacionadas com a sua conversão, contribuindo deste modo para o cumprimento dos vários protocolos de defesa de Ambiente assinados pelo Estado português (nomeadamente o Protocolo de Quioto).

De referir ainda que a regulamentação energética nacional para edifícios de habitação (RCCTE, 2006, Decreto-Lei 80/2006) contém um conjunto de exigências, com vista ao cumprimento de Directivas Comunitárias relativas à segurança de abastecimento energético e à minimização de impactes ambientais, as quais dão um papel de relevo à energia solar.

Portanto, o recurso a colectores solares de produção de AQS vai ser uma forma de conseguir satisfazer os requisitos do RCCTE.

Existe interesse em melhorar o comportamento dos edifícios porque os governos querem reduzir o uso de recursos escassos e a emissão de gases, os proprietários querem reduzir os custos de funcionamento e os promotores/construtores estão a descobrir que os clientes exigem cada vez mais qualidade e eficiência (Larson, 2001).

Para ser possível a melhoria do comportamento térmico dos edifícios é necessária a adopção de diversas estratégias para diferentes países, sendo imprescindível a adopção de melhores métodos de projecto, de construção e de operação dos edifícios. Para tal é necessária a intervenção dos Estados/Governos mas também que os projectistas adoptem novas formas de trabalhar e que os utilizadores exijam edifícios de qualidade superior com menores consumos energéticos, níveis de conforto global mais elevados e sustentáveis (Larson, 2001).

Mas a indústria da construção é muito diferente dos outros sectores com grandes impactes no ambiente. Um aumento do desempenho dos automóveis, por exemplo, pode ser conseguido através da intervenção de poucos construtores/marcas, mas a indústria da construção é constituída por milhares de organizações, desde as muito pequenas, às muito grandes, com funcionários bem ou mal treinados, cuja perícia e treino variam desde o básico ao avançado (Larson, 2001).

Assim a construção é uma actividade com muitos elementos envolvidos, desde os que projectam aos que constroem e aos que utilizam os edifícios, pelo que qualquer intervenção é difícil, pois a indústria da construção é muito resistente à mudança, é uma actividade muito conservadora, sendo a renovação difícil (Maldonado, 2002). Por outro lado no sector dos edifícios, ao contrário da indústria, não é corrente a lógica do custo-benefício na definição dos investimentos (Maldonado, 2002).

Por outro lado os edifícios têm uma vida útil muito superior ao dos outros produtos, têm que se adaptar às condições culturais e climáticas do local, além de irem ao encontro das exigências funcionais e de evoluir ao longo da sua vida útil (Maldonado, 2002).

Uma vez que os projectistas seguem indicações dos clientes é necessário considerar formas de os induzir a “exigirem” edifícios com uma eficiência elevada, sendo necessário actuar nos seguintes níveis, para melhorar a qualidade energética dos edifícios (Larson, 2001; Maldonado, 2002):

- Promotores - através de regulamentação e de normas e de sistemas de incentivos;
- Projectistas - através de regulamentos, de normas e de formação;
- Licenciadores - através do controlo mais efectivo da regulamentação, incluindo o planeamento urbano;
- Construtores e instaladores - impondo a correcta execução dos projectos;
- Utilizadores finais - informando-os pela certificação e por etiquetagem visível e, através de medidas de apoio, e de casos exemplares de demonstração e mecanismos de mudança dos mercados.

As **Normas e Regulamentos** podem ser eficientes se forem adequados, no entanto, usualmente definem o nível de desempenho mínimo aceitável e são então normalmente insuficientes para conduzirem a indústria em direcção a níveis de desempenho elevados (Larson, 2001).

As **Medidas de Apoio**, como por exemplo, desenvolvimento de documentos de ajuda, regras de projecto e programas de preparação, são também componentes necessárias para a implementação de “Edifícios sustentáveis”. Estas medidas tendem a ser usadas por aqueles que já estão convictos da necessidade de um elevado desempenho e, por isso, têm tendência a ter um impacte limitado (Larson, 2001).

Os **Projectos de Demonstração** têm um papel muito importante para convencer a relativamente conservadora indústria da construção de que novos processos e tecnologias são benéficos (Larson, 2001).

Os **Incentivos Financeiros** são importantes, uma vez que uma persuasão financeira é eficaz numa actividade onde o lucro ou o retorno financeiro é o principal objectivo (Larson, 2001).

É necessário definir/conhecer quais as medidas a implementar, além das já existentes (normas e regulamentos, etc.), que levarão a que a maioria dos intervenientes na indústria da construção se consciencializem da necessidade de obtenção de níveis de eficiência elevados, numa gama de elementos, conforto higrotérmico, acústico, visual/luminico e QAI, além da eficiência energética (Larson, 2001).

Em edifícios comerciais os promotores e donos são sensíveis aos sinais de mercado, se forem tomadas medidas que desenvolvam a exigência do mercado na direcção certa, estes certamente terão essa exigência em consideração. É necessário convencer os intervenientes na parte da procura (investidores, habitantes, arrendatários) das vantagens e da necessidade de melhorar o comportamento energético e reduzir as emissões poluentes dos edifícios. Tal objectivo é atingido através da informação e da educação dos intervenientes (Larson, 2001).

É necessário desenvolver mecanismos que permitam aos utilizadores distinguir/diferenciar entre edifícios com níveis de desempenho/eficácia diferentes, de modo que, quem pretender comprar ou alugar um edifício eficiente, tenha meios de identificar o edifício mais adequado às suas pretensões, uma vez que a avaliação da qualidade dos edifícios tem um carácter multi-disciplinar e não está definido de forma clara (Larson, 2001).

A certificação energética dos edifícios é uma das formas, ainda que simples, de permitir aos utilizadores a escolha de um edifício com um desempenho mais elevado, deveria também incluir referência às exigências de iluminação e de QAI, tão intimamente relacionadas. Esta medida deve também ser estendida às outras exigências de conforto, como por exemplo o conforto acústico.

Além da certificação é também necessário implementar medidas que garantam a qualidade dos projectos, e incentivos para a utilização de formas de optimização dos edifícios, ao nível do conforto e da sustentabilidade.

Em edifícios construídos no Canadá, seguindo os princípios de optimização energética, verificou-se que o acréscimo de custos (projecto + construção) variava entre 7% e 8% em relação a um edifício convencional. Este aumento modesto deve-se parcialmente ao facto de os edifícios terem sido projectados com tecnologias mais simples e menos dispendiosas (Larson, 2001).

Com estes edifícios verificou-se também que os maiores benefícios foram conseguidos durante a elaboração do projecto (Larson, 2001).

A experiência canadiana permitiu concluir que os seguintes elementos são importantes (Larson, 2001):

- trabalho interdisciplinar entre Arquitectos, Engenheiros e outros intervenientes desde a fase inicial do projecto;

- discussão da importância relativa de vários elementos que conduzem a eficiência melhorada e definição de um consenso na matéria entre projectistas e clientes;
- uma articulação entre metas de eficiência e as estratégias a serem actualizadas durante o projecto;
- utilização de simulações do comportamento energético para obtenção de informação relevante em relação à eficiência;
- simulação dos parâmetros de conforto higrotérmico, acústico, lumínico, de ventilação e QAI.

A etiquetagem dos edifícios é uma das melhores formas de levar o mercado a evoluir para um grau de exigência superior. Enquanto não existir um método simples que permita identificar edifícios com um comportamento melhor não será possível atingir níveis exigências mais elevados, uma vez que estes estão dependentes da procura (Larson, 2001).

Existem três níveis de sustentabilidade nos edifícios (Rovers, 2001):

- Edifício “Consciente” em termos ambientais - é o centro do ponto de vista do edifício - pretende reduzir o impacto energético do uso de água e materiais (incluindo o lixo) de forma a reduzir o impacto ambiental e climático directamente relacionado com as actividades existentes no edifício;
- Edifício Sustentável - inclui tudo o relacionado com o edifício e o seu ambiente, flora e fauna, infraestrutura, qualidade do ar, planeamento e desenho urbano, etc.. Um edifício distante, “feio” e barulhento não é procurado.
- “Vida” Sustentável - inclui o ambiente construído na nossa forma de viver diária, de modo a garantir um estilo de vida sustentável e significa que as políticas económicas e de comportamento devem trabalhar em conjunto para aumentar o bem-estar geral de uma forma sustentável e duradoura.

Os intervenientes do processo de construção devem adoptar uma visão global tendo em consideração os efeitos da arquitectura na energia, recursos naturais, na economia e no ambiente, devem desenvolver soluções para os edifícios de elevado grau estético (Rovers, 2001).

A solução não deve apenas ser compatível com as características locais do sítio de implantação do edifício, mas também ser compatível com o ambiente humano e sociocultural (Rovers, 2001).

Os edifícios antigos eram mais sustentáveis que os actuais, tomando mais partido do clima. Existem vários exemplos de edifícios sustentáveis, dos mais diversos tipos (enterrados, em pedra, em palha), nas mais díspares regiões do globo e das mais variadas épocas (Schmitz, 2002). Algumas habitações, várias das quais milenares, são ainda actualmente habitadas (Rovers, 2001).

Além das questões de desempenho energético e conforto global é necessário avaliar também a sustentabilidade dos edifícios, já que o sector da construção consome cerca de um sexto dos recursos mundiais e é responsável, no mundo inteiro, pelo consumo actual de 25% da madeira e de 40% dos agregados (pedra, cascalho e areia) (Santamouris 2005; Dimson 1996). Globalmente, os edifícios são também responsáveis por 16% da água e por 40% da energia gasta anualmente e por 25% do consumo de madeira florestal, ao mesmo tempo que são responsáveis por quase 70% das emissões de óxido de enxofre e por 50% das emissões de dióxido de carbono (Dimson, 1996; Bitan, 1992).

A quantidade de energia necessária para produzir os materiais, para a sua montagem no local de construção e para a sua manutenção e demolição, pode variar entre 6 a 20% da energia total consumida durante a vida útil de um edifício, dependendo, entre outros, das tecnologias construtivas usadas, do número de utilizadores, do clima e do grau de conforto exigido pelos ocupantes (Berge, 1999).

Aproximadamente 80% deste valor corresponde ao consumo de energia preliminar dos materiais, o que significa que os recursos energéticos gastos para a sua produção, incluindo a energia relacionada directamente com a extracção de materiais, de seu processamento e da energia necessária para o seu transporte (Berge, 1999). Os 20% restantes incluem a energia consumida no transporte dos materiais transformados até ao local de construção, a energia consumida durante a construção do edifício e a energia consumida durante os processos de desmontagem e de demolição (Berge, 1999).

Os materiais residuais da indústria de construção constituem uma parcela significativa da quantidade total produzida e conseqüentemente torna-se importante seu estudo. Actualmente, no contexto europeu, a construção é responsável, em média, pela produção de 30% de todos os resíduos produzidos (Teixeira, 2001). Em Portugal não há nenhuma estatística sobre esta matéria, mas tendo na consideração a presença forte da indústria de construção e de seu baixo grau de industrialização, este número deve ser muito superior (Teixeira, 2001)

Os resíduos da indústria de construção têm origem nas fontes mais diversas: produção de materiais, perdas durante o armazenamento, transporte, construção, manutenção e demolição. A quantidade destes resíduos e sua eventual reutilização ou de reciclagem depende essencialmente do tipo de material e das técnicas da construção usadas, além da organização da empresa de construção, das especificações do projecto e da qualificação profissional dos trabalhadores (Almeida e Teixeira, 2001).

Uma das principais produções de resíduos ocorre durante a fase da construção do edifício. Nesta fase são produzidos, em média, aproximadamente 10% do volume total dos resíduos produzidos (Berge, 1999).

Além destes impactes a indústria extractiva produz ruído, vibrações, poeiras e trânsito de viaturas, o que contribui também para a degradação da qualidade do ambiente, não só no ambiente exterior, mas também no interior dos edifícios (Brodtkom, 2000).

É assim necessário tratar dos resíduos da construção, sendo a melhor forma de o fazer, em primeiro lugar, em evitá-los, depois deve ser considerada a reciclagem da maior quantidade de material, devendo evitar-se a incineração e a deposição em aterros.

É durante a fase do projecto, que todos os intervenientes devem assegurar a utilização dos materiais e das tecnologias construtivas que podem garantir a reciclagem ou futura reutilização dos resíduos resultantes da demolição, observando os seguintes princípios (Almeida e Teixeira, 2001):

- (i) Evitar o uso de materiais compostos que não podem ser separados;
- (ii) Evitar juntar os componentes da construção de forma inseparável;
- (iii) Projectar os edifícios prevendo o seu futuro desmantelamento ou desmontagem e não somente a sua demolição.

É então importante conhecer o comportamento higrotérmico dos edifícios, mas não só, é essencial também avaliar a qualidade do ar, estudar as condições de luminosidade e o desempenho acústicos dos elementos da envolvente, tendo em consideração a influência dos seus componentes (elementos construtivos e equipamentos), características geométricas, orientação, etc., de modo a obter qualidade de vida no seu interior e não apenas reduzir ou controlar os consumos energéticos, mas sim garantir as condições globais de conforto no seu interior e também a sua sustentabilidade.

Este estudo deve ser realizado de forma interdisciplinar e integrada, logo na fase de projecto, identificando e definindo a importância relativa de vários elementos que conduzem a eficiência melhorada do edifício, simulando os parâmetros de conforto higrotérmico, acústico, lumínico, de ventilação e qualidade do ar

interior e também do comportamento energético para obtenção de informação relevante em relação à eficiência do edifício.

Assim é possível melhorar as condições de conforto global no edifício e aumentar a sua sustentabilidade.

Nos capítulos seguintes apresenta-se o estudo realizado de modo a contribuir para a selecção de uma metodologia que, integrando as diferentes exigências de conforto e a redução dos consumos energéticos dos edifícios, conduza a construção de edifícios melhores, através da selecção das opções que conduzem à optimização de cada projecto e à escolha do projecto que melhor se ajusta às exigências de cada caso.

Capítulo 3 - Metodologia

Neste capítulo são descritos os edifícios que foram estudados no decurso deste trabalho, os programas utilizados para prever o desempenho dos edifícios e os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios in situ efectuados no decurso deste trabalho visando caracterizar as condições de qualidade do ambiente interior do parque habitacional português e de prever o comportamento dos edifícios em fase de projecto através de simulação computacional.

3.1 Introdução

Para avaliar o conforto global nos edifícios, ou seja a Qualidade Ambiental Interior (Indoor Environmental Quality, IEQ) é necessário avaliar o comportamento higrotérmico, associado ao conforto térmico, o isolamento acústico da envolvente, associado ao conforto acústico, o nível de iluminação (nível de iluminância e Factor da Luz do Dia), relacionado com o conforto lumínico ou visual e também a Qualidade do Ar Interior.

Assim, foram realizados ensaios in situ em alguns edifícios para caracterizar o isolamento térmico e acústico da envolvente (soluções construtivas), a temperatura ambiente, temperatura do bolbo negro, humidade relativa, velocidade do ar, a iluminância, para caracterizar o conforto térmico e lumínico. Foi também medida a concentração de poluentes (dióxido e monóxido de carbono, ozono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis totais, partículas respiráveis) e de radão, para avaliar a Qualidade do Ar Interior.

Foram também simulados o comportamento térmico, acústico e lumínico de alguns edifícios e soluções construtivas.

Os edifícios, os equipamentos e os programas de simulação utilizados neste estudo são descritos de seguida.

Para a simulação do comportamento dos edifícios, testando diferentes soluções construtivas para paredes, coberturas, pavimentos, envidraçados e dispositivos de sombreamento foram analisados alguns programas de cálculo (EnergyPlus, VisualDOE, Ecotect, Acoubat Sound, Radiance, RELUX, RETscreen, Comis Studio, Aiolos, NatVent).

Para a calibração dos modelos de cálculo e para a realização do estudo relativo à avaliação das condições de conforto no interior dos edifícios e da sua sustentabilidade foram efectuados ensaios nas células de teste do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, encontrando-se estas instrumentadas para o efeito:

- Células de Teste de Edifícios não Convencionais;
- Células de Teste Multifuncionais.

Os equipamentos necessários para a realização do estudo são descritos no Anexo I, englobando:

- Sistemas de aquisição e armazenamento de dados (data-loggers e multiplexadores);
- Sondas de medição de temperatura (termopares), humidade relativa (higrómetros) e de fluxo de calor (fluxímetros);
- Luxímetros e luminancímetros;

- Estação meteorológica;
- Equipamento para avaliação da qualidade do ar (sensores de COV, O₃, CHOH, CO₂ e CO, PM₁₀) e para verificar o número de renovações de ar por hora (porta ventiladora);
- Fonte sonora para sons aéreos e máquina de passos para sons de percussão;
- Microfones;
- Analisador de frequências em tempo real;
- Software de acústica de edifícios;
- Sonómetro integrador com a classe de precisão I.

De seguida descrevem-se as células de teste do Laboratório de Físicas e Tecnologia das Construções do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho onde a análise experimental foi realizada.

3.2 Descrição das Células de Teste

As Células de Teste de Edifícios não Convencionais do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções, do Departamento de Engenharia Civil, localizam-se no Campus de Azurém da Universidade do Minho, em Guimarães, tal como mostra a Figura 3.1. As Células de Teste de Edifícios não Convencionais, são um projecto do Arquitecto Paulo Mendonça.



Figura 3.1 - Localização das Células de Teste do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções (Google Earth, 20/03/2006)

3.2.1 Células de Teste de Edifícios não Convencionais

As Células de Teste de Edifícios não Convencionais são três:

- a Célula de Teste não Convencional (CTnC) ou Célula de Teste 1;
- a Célula de Teste Convencional (CTC) ou Célula de Teste 2; e

- a Célula de Teste Passys (CTP) ou Célula de Teste 3;

encontram-se orientadas a Sul, possuindo um sistema de ganhos indirectos a Sul (estufa) sombreada através de um sombreador de lâminas inclinadas, fixas, tal como mostra a Figura 3.2.



Figura 3.2 - Vista do alçado Sul das Células de Teste de Edifícios não Convencionais

Características Geométricas das Células de Teste

A Célula de Teste 1, designada por Célula não-Convencional (CTnC) foi construída segundo princípios bioclimáticos. Esta célula é constituída por duas zonas, que podem ser individualizadas através de uma divisória móvel em madeira, como mostra a Figura 3.3.

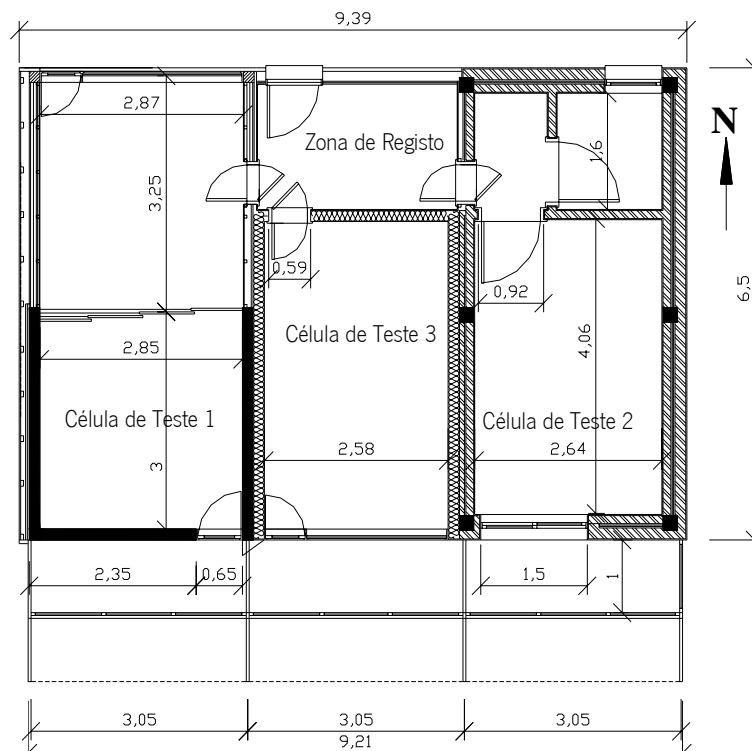


Figura 3.3 - Planta das Células de Teste de Edifícios não Convencionais (distâncias em metros)

O compartimento 1, a Sul, zona pesada, tem massa elevada de forma a aproveitar o efeito regulador da temperatura da inércia térmica.

O compartimento 2, a Norte é constituído por materiais leves, possuindo uma porta envidraçada e um envidraçado em material translúcido, ocupando a restante parte da parede de forma a aproveitar a iluminação natural mais constante que esta orientação proporciona.

A célula de Teste 2 é a Célula de Teste Convencional – CTC – dividida em três compartimentos, foi executada com as mesmas características geométricas, apresentadas na Tabela 3.1, mas com uma solução construtiva tradicional (pórtico de betão armado, paredes duplas de tijolo furado e lajes aligeiradas de blocos de betão), sendo também uma construção pesada.

Tabela 3.1 - Área e Volume das Células de Teste de Edifícios não Convencionais

	Área [m ²]	Volume [m ³]
Célula de Teste 1 - Célula não-Convencional (CTnC)	9,3 + 8,6	28,0 + 20,5
Célula de Teste 2 - Célula de Teste Convencional (CTC)	10,7	32,2
Célula de Teste 3 - Célula de Teste Passys (CTP)	10,5	31,5

A Célula de Teste 3 é uma Célula de Teste Passys (CTP) com um elevado nível de isolamento e sem inércia térmica. Na zona Norte da Célula de Teste 3 encontra-se a zona de registo.

Nas Figura 3.4 e Figura 3.5 estão representados os alçados e cortes das células de teste mostrando o dispositivo de sombreamento e a estufa envidraçada móvel existente na fachada Sul, que constitui o sistema de ganhos indirectos. A posição do envidraçado que forma a estufa pode ser alterada podendo o seu afastamento em relação à parede Sul variar entre 0,10 m e 1,0 m (estufa).



Figura 3.4 - Alçados Norte, Sul, Este e Oeste das Células de Teste

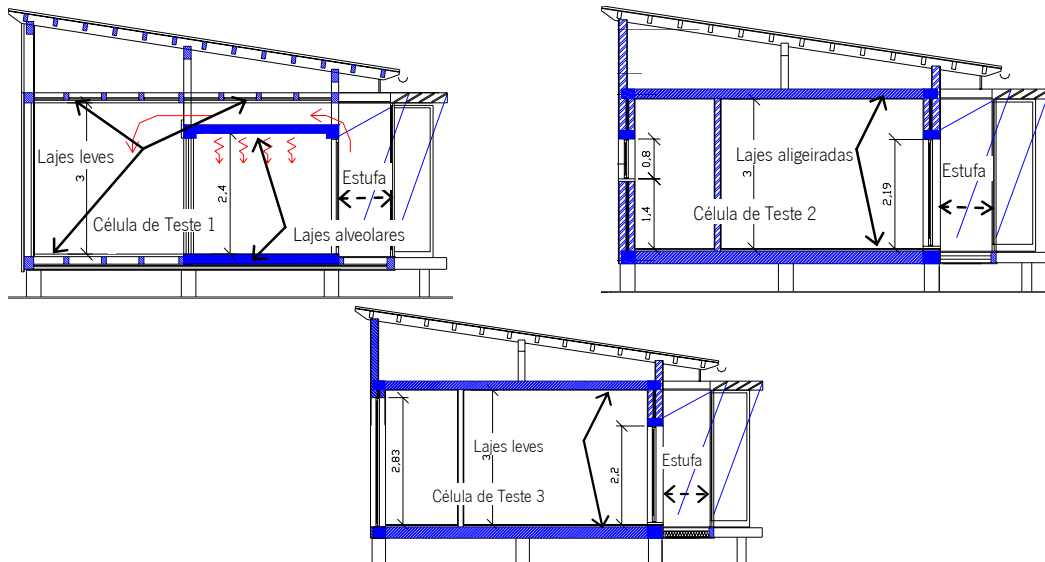


Figura 3.5 - Corte esquemático das Células de Teste (distâncias em metros)

De seguida descrevem-se as soluções construtivas adoptadas para os diversos elementos constituintes das células de teste.

Características Construtivas

As três células de teste que constituem as Células de Teste de Edifícios não Convencionais possuem características geométricas idênticas, mas as soluções construtivas adoptadas são diferentes, tal como se refere de seguida.

Célula de Teste não-Convencional (CTnC)

A Célula de Teste não-Convencional (CTnC) pode ser dividida em dois compartimentos, como é possível observar na Figura 3.3 e Figura 3.6, onde se encontram assinalados os diferentes elementos construtivos.

O compartimento 1 possui capacidade de armazenamento térmico elevada e pretende simular uma zona de dormir, o compartimento 2 tem reduzida capacidade de armazenamento térmico e pretende simular uma zona de trabalho.

Descrição dos elementos construtivos da Célula de Teste não-Convencional (CTnC)

Paredes

A parede Sul da Célula de Teste 1 (Parede 1 na Figura 3.6 e na Figura 3.7) é constituída por alvenaria de terra compactada (adobe) com 15,0 cm de espessura, caiada no interior e pintada de preto no exterior.

A Parede 2, parede Oeste do compartimento 1, representada na Figura 3.6 e na Figura 3.7, é constituída por, do interior para o exterior, reboco de cal, 15,0 cm de alvenaria de terra compactada (adobe), 5,0 cm de aglomerado negro de cortiça, caixa-de-ar de 4,0 cm e placas de cimento com aparas de madeira com 1,2 cm.



Figura 3.6 - Planta, corte e fotografia do alçado Sul da Célula de Teste não-Convencional

A Parede 3 é a parede Oeste do compartimento 2 (na Figura 3.6 e na Figura 3.7) é uma parede múltipla, com, do interior para o exterior, placas de gesso cartonado com 1,3 cm, 2,0 cm de fibra de coco, 8,0 cm de aglomerado negro de cortiça, placas de cimento com aparas de madeira com 1,9 cm, caixa-de-ar com 6,0 cm e placas de cimento com aparas de madeira de 1,2 cm.

A parede divisória dos dois compartimentos da Célula de Teste 1 é constituída por placas de contraplacado com 1,0 cm de espessura.

A Parede 4 (na Figura 3.6 e na Figura 3.7), a parede Norte da Célula de Teste não-Convencional, é uma parede simples constituída por uma placa de policarbonato alveolar com 10,0 mm inserida num caixilho de madeira.

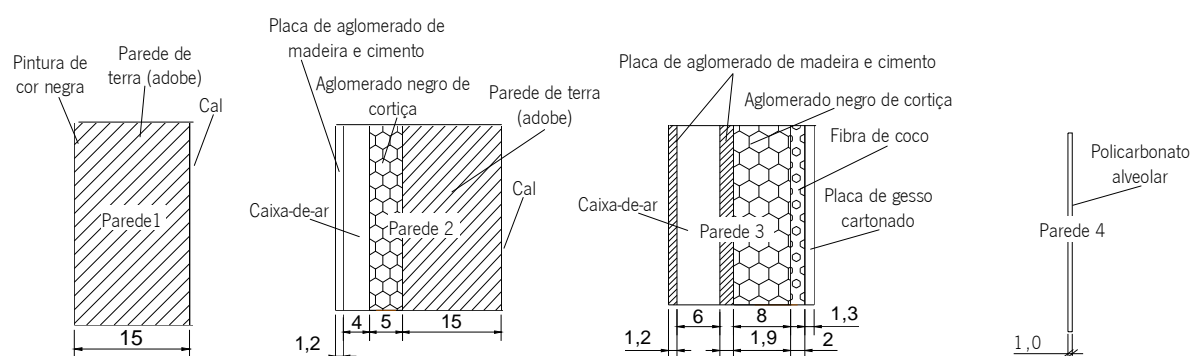


Figura 3.7 - Corte esquemático das soluções construtivas não Convencionais das paredes

A estufa, localizada a Sul do compartimento 1 é envidraçada móvel, possuindo um espaço de ar de dimensão variável (que pode variar ente 0,1 m e 1,0 m) é constituída por um envidraçado simples com 6,0 mm, de espessura, inserido em caixilharia de alumínio, que constitui as paredes Sul, Este e Oeste deste espaço.

Pavimentos e Coberturas

O pavimento da zona Sul da Célula de Teste 1, Pavimento 1 (zona pesada) é uma laje alveolar de 30,0 cm, camada de regularização com 4,0 cm, sobre a qual é aplicada uma lâmina de 0,3 cm de espuma de polietileno (elemento resiliente), sendo o revestimento de piso em madeira, tal como representado na Figura 3.6 e na Figura 3.8.

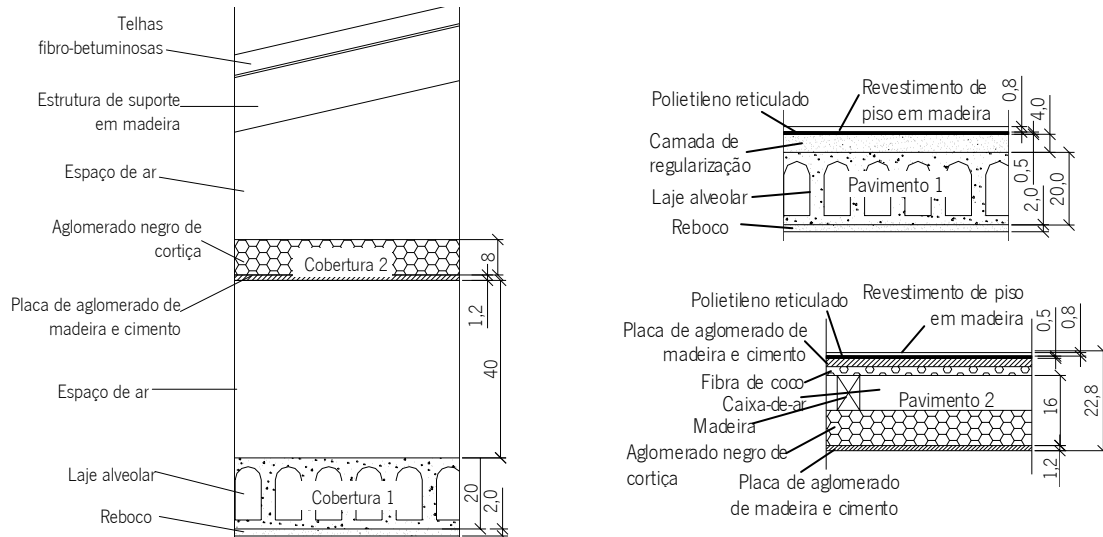


Figura 3.8 – Corte esquemático das soluções construtivas não convencionais das coberturas e dos pavimentos

O pavimento da zona Norte, Pavimento 2 (Figura 3.6 e Figura 3.8), também com revestimento de piso em madeira, é constituído por (do interior para o exterior) uma lâmina de 0,3 cm de espuma de polietileno, placas de cimento com aparas de madeira com 1,9 cm de espessura, 2,0 cm de fibra de coco, apoiado numa estrutura de madeira, criando um espaço de ar de 10 cm, duas camadas de 8,0 cm de aglomerado negro de cortiça e placas de cimento com aparas de madeira com 1,2 cm.

O pavimento da estufa é idêntico ao pavimento da zona Norte da CTnC, não possuindo as camadas de aglomerado negro de cortiça e de fibra de coco.

A cobertura na zona Sul da CTnC, Cobertura 1, é constituída por, tal como o Pavimento 1, uma laje alveolar de 20,0 cm. A 40,0 cm desta estrutura, prolongando-se para a zona Norte, constituindo a cobertura dessa zona, Cobertura 2, tal como mostra a Figura 3.6 e a Figura 3.8, existe uma cobertura leve, constituída por, do interior para o exterior, placas de aglomerado de madeira e cimento com 1,2 cm, por 8,0 cm de aglomerado negro de cortiça.

A protecção da laje de cobertura é constituída por uma estrutura leve em madeira, que suporta o revestimento constituído por telhas fibro-betuminosas (com fibras minerais e vegetais tipo onduline).

A cobertura da zona de estufa é constituída por uma placa de policarbonato alveolar com 1,0 cm de espessura.

Célula de Teste Convencional (CTC)

A Célula de Teste Convencional (CTC) pretende representar a construção convencional Portuguesa. A CTC é composta por três compartimentos, tal como é possível observar na Figura 3.9, a zona Sul pretende simular uma zona de dormir, representando as restantes as instalações sanitárias e uma zona de circulação.

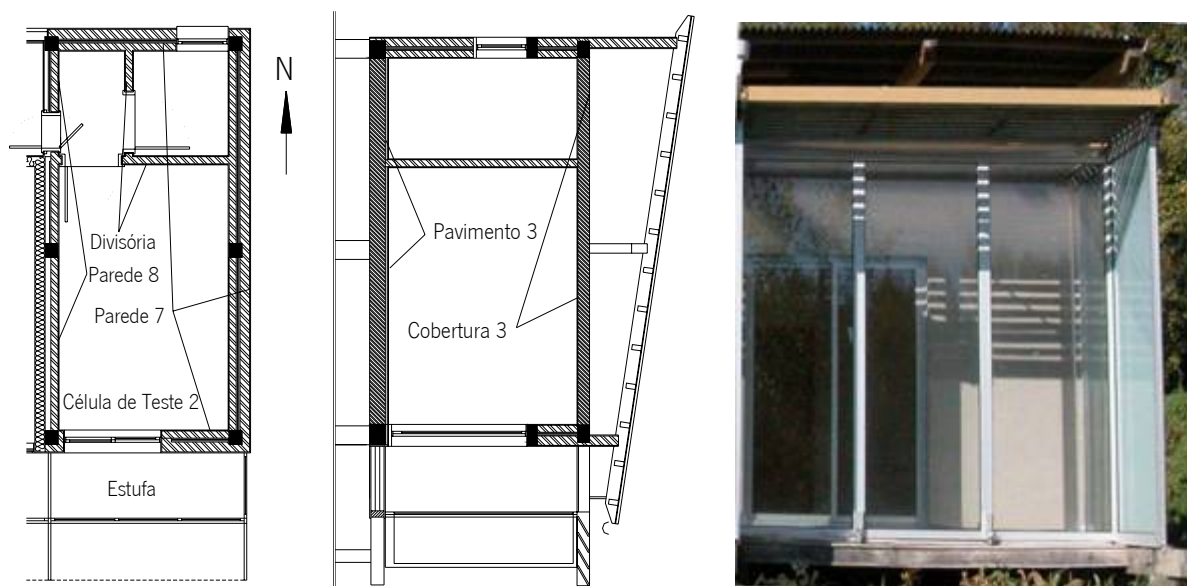


Figura 3.9 - Planta, corte e fotografia do alçado Sul da Célula de Teste Convencional.

Descrição dos elementos construtivos da Célula de Teste Convencional (CTC)

Paredes

As paredes exteriores, a Sul, Este e a Norte, da Célula de Teste Convencional, Parede 7 na Figura 3.9 e na Figura 3.10, são duplas rebocadas em ambas as faces (2 cm), constituídas por (do interior para o exterior) tijolo furado de 11 cm, caixa-de-ar de 4 cm, poliestireno expandido extrudado com 4 cm de espessura e tijolo furado de 15 cm.

A Parede Oeste, Parede 8 nas Figura 3.9 e Figura 3.10, separa a Célula de Teste Convencional da Célula de Teste Passys, é uma parede simples com de 2 cm reboco e alvenaria de tijolo furado de 11 cm.

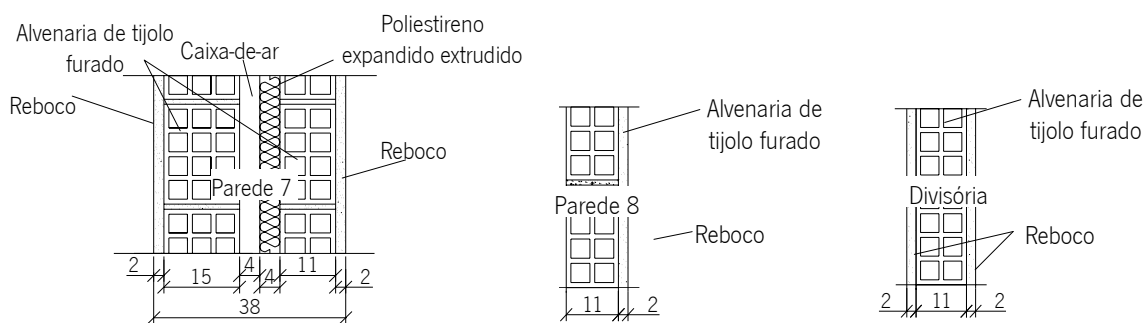


Figura 3.10 - Corte esquemático das soluções construtivas não Convencionais das paredes

As paredes divisórias são simples e constituídas por um pano de tijolo furado de 11 cm e com uma camada de 2 cm de reboco em ambas as faces, tal como representado na Figura 3.10.

Pavimentos e Coberturas

O pavimento da CTC, Pavimento 3 nas Figura 3.9 e Figura 3.11, é constituído por uma laje aligeirada com abobadilhas de betão com 25 cm, uma camada de regularização de 4,0 cm, 0,5 cm de polietileno reticulado, que constitui o elemento resiliente sendo o revestimento de piso em madeira.

A cobertura, Cobertura 3 na Figura 3.9 e na Figura 3.11, é composta por uma laje aligeirada com abobadilhas de betão com 25 cm, sendo estucada na sua face inferior.

Tal como na Célula de Teste 1, a protecção da laje de cobertura é constituída por uma estrutura leve em madeira, que suporta o revestimento constituído por telhas fibro-betuminosas (com fibras minerais e vegetais) (onduline).

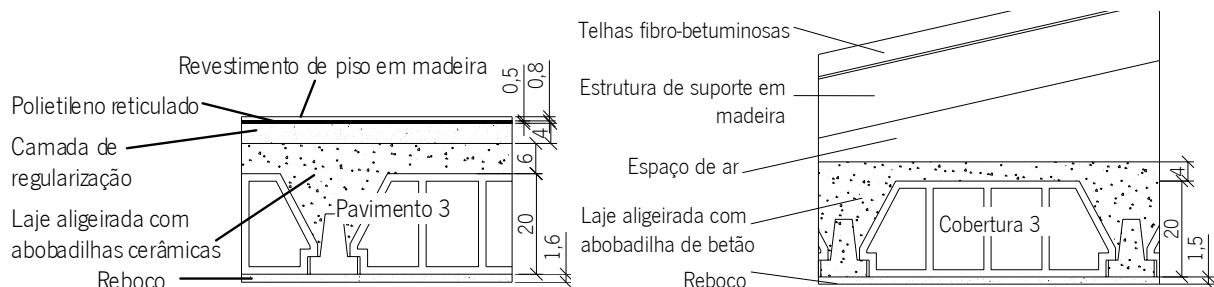


Figura 3.11 - Corte esquemático das soluções construtivas Convencionais das coberturas e dos pavimentos

A estufa, localizada a Sul é envidraçada e móvel (Figura 3.9), possuindo um espaço de ar de dimensão variável (que pode variar ente 0,1 m e 1,0 m) é constituída por um envidraçado simples com 6,0 mm, de espessura, inserido em caixilharia de alumínio, que constitui as paredes Sul, Este e Oeste deste espaço.

A cobertura da zona de estufa é constituída por uma placa de policarbonato alveolar com 1,0 cm de espessura.

Célula de Teste tipo Passys (CTP)

Esta célula é dividida em dois compartimentos, como se pode observar na Figura 3.12, o Compartimento 1, a Sul é o espaço de teste a elementos construtivos, o Compartimento 2, a Norte, é a zona de registo ou zona técnica, estando aí instalados os equipamentos do sistema de medição, como o computador, data-logger, etc..

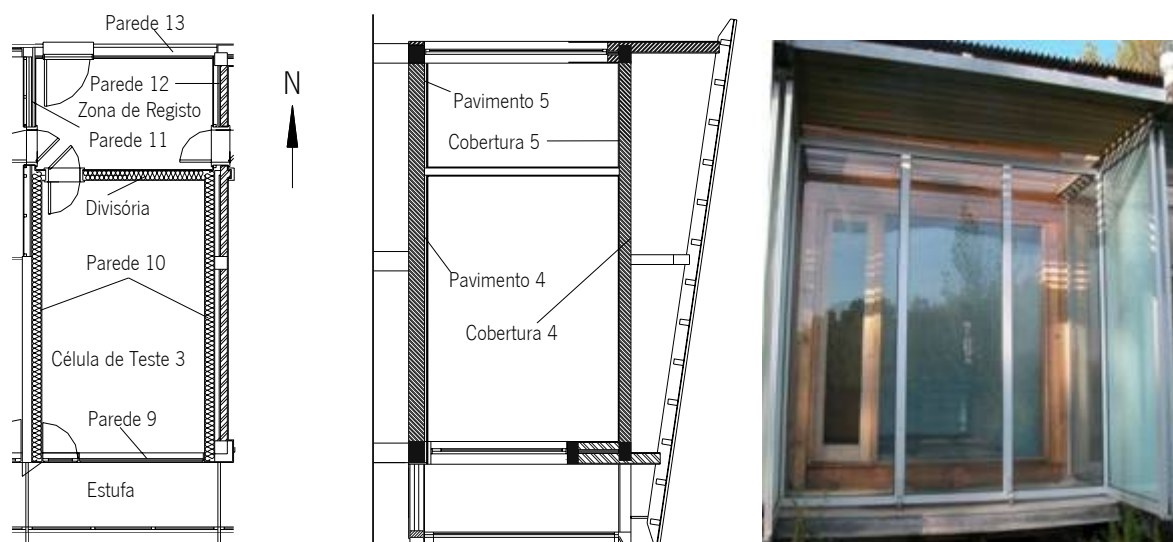


Figura 3.12 – Planta, alçado e foto da fachada Sul da Célula de Teste tipo Passys

Os elementos construtivos da CTP são descritos de seguida.

Descrição dos elementos construtivos da Célula de Teste Passys (CTP)

Paredes

A parede Sul da Célula de Teste Passys, Parede 9, da Figura 3.12 e da Figura 3.13, é uma parede simples constituída por uma placa de policarbonato alveolar com 10 mm, com caixilharia de madeira.

A Parede 10 (Figura 3.12 e Figura 3.13) que a Este separa a Célula Passys da Célula de Teste Convencional e a Oeste separa esta célula da Célula de Teste não-Convencional é constituída por 20 cm de poliestireno expandido extrudado em placas.

A Este esta parede está em contacto com a Parede 8 da CTC (parede simples de alvenaria de tijolo furado com 11 cm) e a Oeste com a Parede 1 da zona Sul da CTnC (parede de adobe com 15 cm) e com a Parede 6 da Zona Norte da CTnC, que é uma parede dupla constituída por placas de gesso cartonado com 1,3 cm, uma caixa-de-ar com 5,0 cm e uma placa de aglomerado de madeira e cimento com 1,2 cm de espessura.

Na Zona de Registo, a Parede 11, a Oeste, separa esta zona da CTnC, como mostram as Figura 3.12 e Figura 3.13, sendo constituída por uma parede dupla constituída por placas de gesso cartonado com 1,3 cm, uma caixa-de-ar com 5,0 cm e uma placa de aglomerado de madeira e cimento com 1,2 cm de espessura.

A Parede 12 (Figura 3.12 e Figura 3.13), separa a CTP da CTC, localizada a Este, é constituída por placas de aglomerado de madeira e cimento de 1,2 cm (ou gesso cartonado com 1,3 cm ??) e separada da Parede 8 da CTC (pano de alvenaria de tijolo de 11 cm, rebocada na face localizada a Este) por uma caixa-de-ar de 7 cm de espessura.

A Parede 13, da Figura 3.12 e da Figura 3.13, é a parede Norte da Zona de Registo e é constituída, do exterior para o interior, por placas de aglomerado de madeira e cimento de 19 mm, por uma caixa-de-ar e por uma placa fibro-betuminosa com fibras minerais e vegetais (onduline) idêntica às telhas da cobertura.

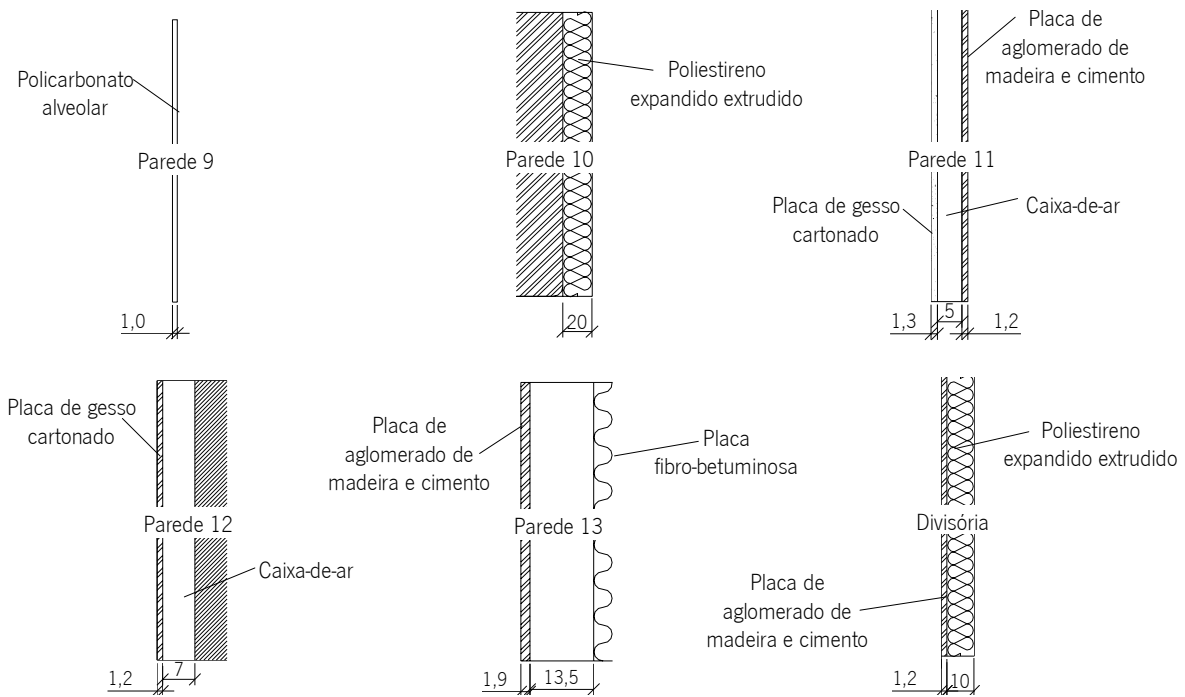


Figura 3.13 - Corte esquemático das soluções construtivas da Célula Passys para as paredes, cobertura e pavimento

A Divisória (Figura 3.12 e Figura 3.13) é uma parede simples constituída por placas de aglomerado de madeira e cimento de 12 mm e por 100 mm isolamento térmico em poliestireno expandido extrudido.

A estufa, localizada a Sul é envidraçada e móvel, possuindo um espaço de ar de dimensão variável (que pode variar ente 0,1 m e 1,0 m) é constituída por um envidraçado simples com 6,0 mm, de espessura, inserido em caixilharia de alumínio, que constitui as paredes Sul, Este e Oeste deste espaço.

Pavimentos e Coberturas

O Pavimento 4, representado nas Figura 3.12 e Figura 3.14, é o pavimento Sul da CTP sendo constituído, do exterior para o interior, por placas de aglomerado de madeira e cimento com 12 mm, por um espaço de ar com 100 mm, por uma segunda placa de aglomerado de madeira e cimento com 19 mm, por 250 mm de poliestireno expandido extrudido. Sobre a camada de isolamento existe a possibilidade de inserir uma camada de óleo de coco com 50 mm, sobre a qual se instala a camada resiliente com 5 mm de polietileno alveolar e o revestimento de piso em madeira com 8 mm.

O pavimento da Zona de Registo (Pavimento 5 na Figura 3.12 e na Figura 3.14), é constituído por duas placas de aglomerado de madeira e cimento com 12 mm (exterior) e com 19 mm (interior), separadas por um espaço de ar com 100 mm.

A Cobertura da zona Sul da CTP (Cobertura 4 da Figura 3.12 e da Figura 3.14) é constituída por, do exterior para o interior, placas de contraplacado com 5 cm, seguida de placas de aglomerado de madeira e cimento com 12 mm e 300 mm de poliestireno expandido extrudido.

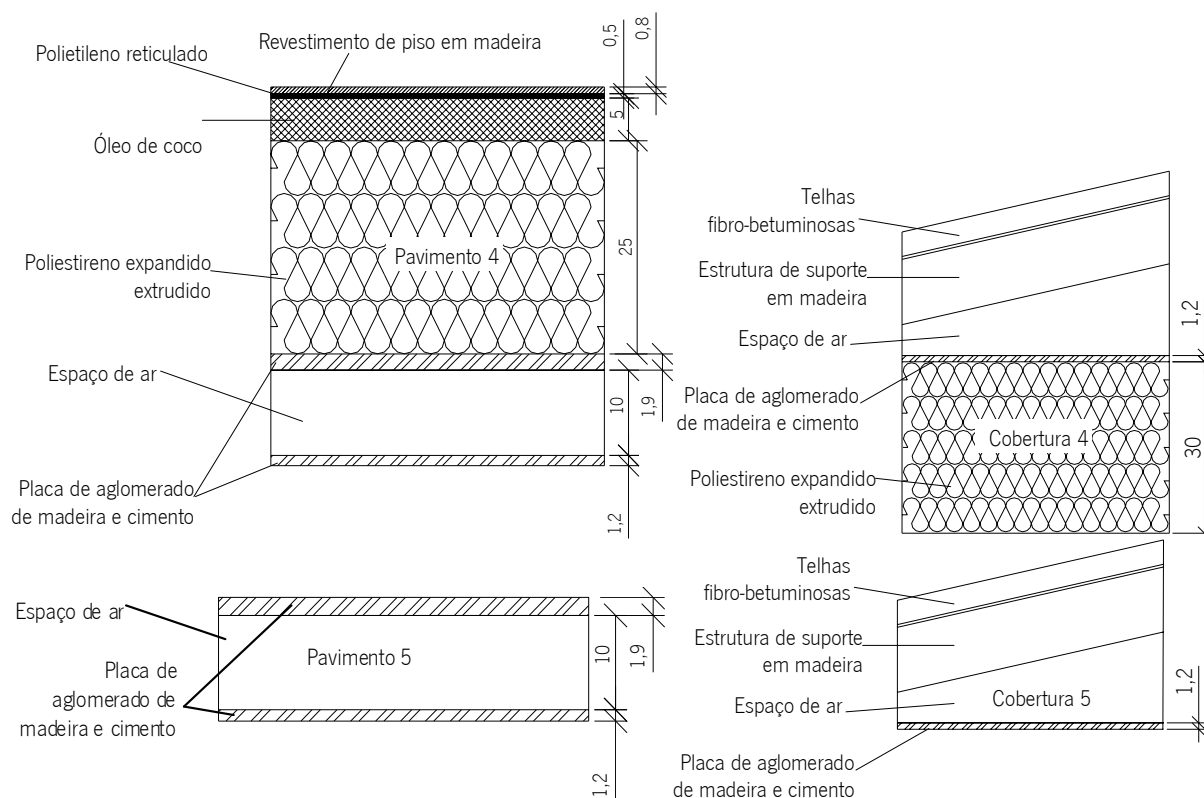


Figura 3.14 – Corte esquemático das soluções construtivas da Célula Passys para as paredes, cobertura e pavimento

A Cobertura 5, representada na Figura 3.12 e na Figura 3.14, é a cobertura da zona de Registo, a Norte, e é idêntica à Cobertura 4, mas não possui isolamento, sendo constituída por uma placa de aglomerado de madeira e cimento com 12 mm.

A protecção da laje de cobertura é constituída por uma estrutura leve em madeira, que suporta o revestimento constituído por telhas fibro-betuminosas (com fibras minerais e vegetais) (tipo onduline).

A cobertura da zona de estufa é constituída por uma placa de policarbonato alveolar com 1,0 cm.

A estufa, localizada a Sul é envidraçada e móvel, possuindo um espaço de ar de dimensão variável (que pode variar ente 0,1 m e 1,0 m) é constituída por um envidraçado simples com 6,0 mm, de espessura, inserido em caixilharia de alumínio, que constitui as paredes Sul, Este e Oeste deste espaço.

Descrição dos Envidraçados e do Sistema de Sombreamento das Células de Teste de Edifícios não-Convencionais

Os envidraçados das células de teste possuem vidro simples de 6,0 mm com caixilharia metálica comum na Célula de Teste Convencional e no envidraçado Sul da Célula de Teste não-Convencional e com caixilharia de madeira na Célula de Teste Passys e no envidraçado Norte da Célula de Teste não Convencional.

O dispositivo de sombreamento é constituído por uma estrutura com lâminas inclinadas fixas, tal como mostra a Figura 3.15, onde se pode observar uma vista do alçado Sul das células de teste, sem e com a estufa envidraçada móvel e o elemento sombreador.



Figura 3.15 – Vista do alçado Sul das células de teste, sem e com estufa

As características dos elementos construtivos das células de teste são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Características dos elementos construtivos das Células de Teste de Edifícios não-Convencionais

Elemento	Área [m ²]	Massa [kg/m ²]	Elemento	Área [m ²]	Massa [kg/m ²]	Elemento	Área [m ²]	Massa [kg/m ²]
Célula de Teste 1 - solução não-convencional			Célula de Teste 2 - solução convencional			Célula de Teste 3 - solução passys		
Cobertura - S	10,5	404,8	Cobertura	19,8	356,0	Cobertura	10,8	-
Pavimento - S	10,5	449,4	Pavimento	19,8	418,0	Pavimento	10,8	-
Cobertura - N	10,9	37,0	Fachada Sul - Parede 7			Fachada Sul - Parede 9		
Pavimento - N	10,9	69,3	Parede dupla	5,9	452,0	Envidraçado	7,7	-
Fachada Sul - Parede 1			Envidraçado	3,3	12,0	Fachada Este - Parede 10		
Adobe	5,7	289,5	Fachada Este - Parede 7			Parede dupla	12,6	-
Envidraçado	1,6	12,0	Parede dupla	19,5	452,0	Parede Norte - Parede divisória		
Fachada Oeste - Parede 2 e 3			Fachada Norte - Parede 7			Parede dupla	7,7	-
Adobe+isolam.	9,0	318,7	Parede dupla	8,6	452,0	Parede Oeste - Parede 10		
Sanduiche	9,8	79,1	Envidraçado	0,6	12,0	Parede	9,0 + 3,3	-
Fachada Norte								
Envidraçado	8,6	12,0						

3.3 Descrição dos Edifícios Analisados

Para a realização do estudo foram definidos edifícios tipo caracterizadores dos edifícios portugueses para analisar as soluções construtivas através de simulação. Foram também seleccionados edifícios do parque habitacional português onde foram realizadas as medições in situ.

Estes edifícios são descritos nos pontos seguintes.

3.3.1 Descrição dos Edifícios Tipo

Para realizar a avaliação do comportamento acústico, lumínico/visual e da qualidade do ar interior, foram estudados edifícios de forma prismática, constituídos por dois apartamentos tipo T3, com aproximadamente a mesma área e que permitem modular diversas situações, habitações com 1, 2, 3 e 4 frentes.

Estes edifícios foram escolhidos de forma a representarem os edifícios portugueses, que em geral, têm por base formas geométricas simples. As duas tipologias de apartamento escolhidas para a realização deste estudo permitem extrapolar as conclusões obtidas à grande parte dos edifícios existentes nas zonas urbanas de Portugal.

Os dois tipos de apartamentos analisados têm aproximadamente a mesma área habitável e o mesmo volume mas têm configurações diferentes.

As dimensões base dos apartamentos base para a definição dos edifícios são 10,3*15,0*2,7 m e 18,4*8,4*2,7 m, tendo uma área útil de pavimento de 127,3 m² e 128,0 m², permitindo considerar edifícios com vários andares de altura e situações de 1 a 4 orientações.

Estas habitações tipo podem ser utilizadas para definir edifícios multifamiliares, unifamiliares isolados, geminados ou em banda, cobrindo assim as diferentes tipologias de edifícios existentes.

Em todos os edifícios foi ainda considerado um andar enterrado correspondente a uma garagem de modo a se aproximar o mais possível da configuração da generalidade dos edifícios portugueses.

Para o estudo desenvolvido neste trabalho, a área de envidraçados foi definida em função da área útil de pavimento e por isso toma um valor variável em função do compartimento em que se insere. Neste âmbito foi realizado o estudo considerando que a área ocupada pelos envidraçados é cerca de 15% da área de pavimento, sendo esta percentagem mantida independentemente da orientação, na situação inicial, sendo posteriormente ajustada em função da orientação e do tipo de compartimento, tendo em consideração as exigências de obtenção de ganhos solares, de iluminação e de ventilação. Esta é a situação mais próxima da vulgarmente utilizada.

A envolvente considerada para este estudo pode ser dividida em seis partes:

- paredes exteriores;
- paredes de separação entre duas habitações ou entre uma habitação e zonas comuns de circulação;
- paredes divisórias;
- coberturas exteriores e em contacto com zonas não habitadas;
- pavimentos interiores e exteriores;
- envidraçados e dispositivos de sombreamento.

A simulação foi realizada considerando o efeito nas condições ambientais no interior do edifício (temperatura, humidade relativa, nível de isolamento sonoro, condições de iluminação e ventilação) e nas necessidades energéticas dos edifícios estudados, tendo por base as duas configurações de habitação definidas, dos diversos tipos de materiais, dos vários níveis de isolamento, dos diferentes tipos de elementos construtivos, das várias formas de colocação do material de isolamento, etc..

Edifícios Base para Simulação

Para o estudo realizado foram definidos dois edifícios tipo, com uma tipologia T3, representativos dos edifícios típicos em Portugal, representados na Figura 3.16.

Estas duas habitações serão utilizadas para definir diversos edifícios que, em conjunto com os materiais e as soluções construtivas definidas anteriormente, serão estudados, sendo estimadas as suas necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento para manter as condições de conforto higrotérmico no seu interior (temperatura ambiente entre 20 a 25°C e 30 a 70% de humidade relativa), as condições de iluminação, a qualidade do ar interior e o comportamento acústico dos elementos construtivos, de modo a otimizar as condições de conforto global no seu interior.

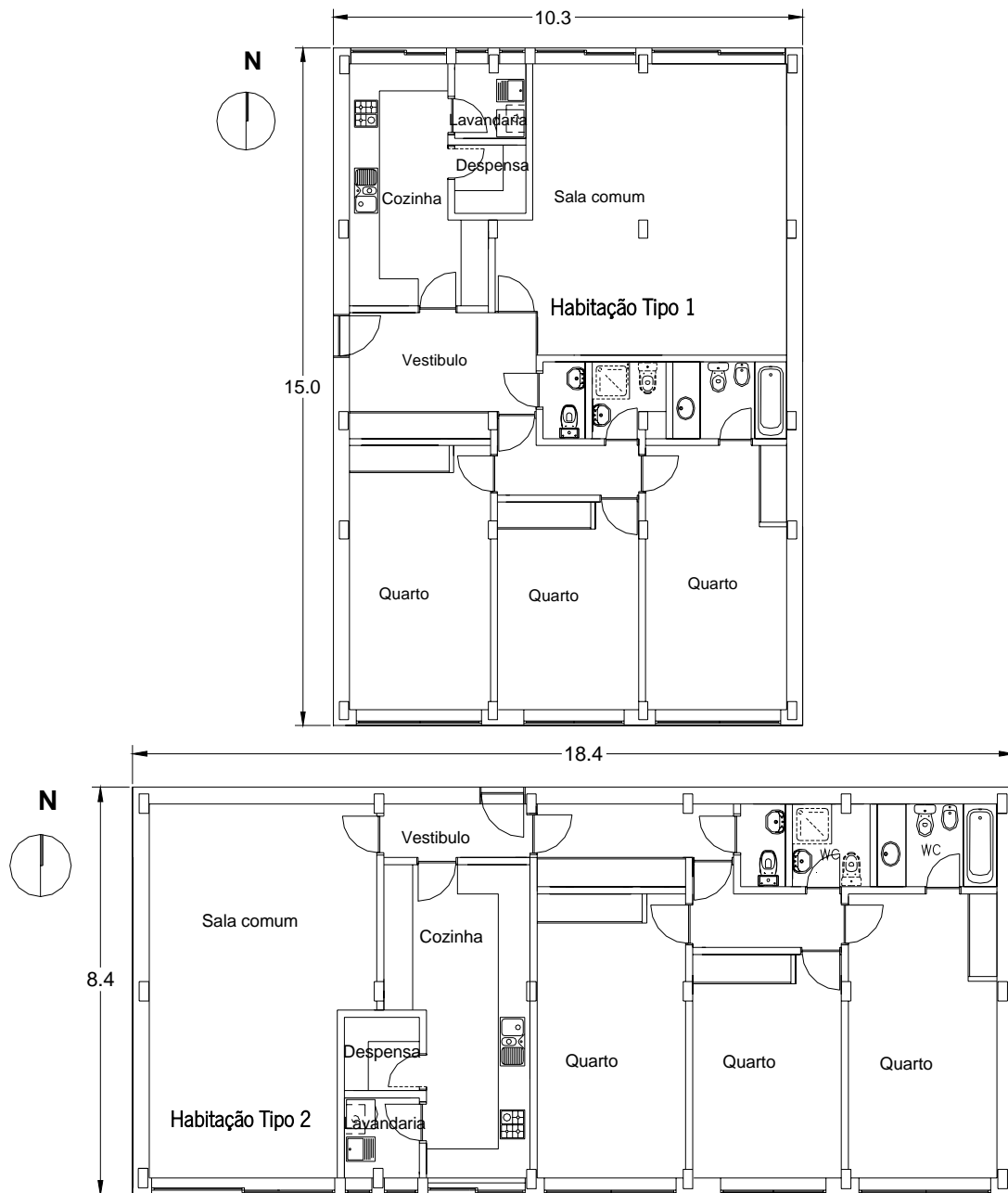


Figura 3.16 – Planta dos dois apartamentos definidos para a realização da simulação

Os elementos construtivos analisados são os mais utilizados em Portugal (paredes, pavimentos e envidraçados simples e duplos, coberturas horizontais e inclinadas) e diferentes tipos de materiais de isolamento (poliestireno expandido e poliestireno expandido extrudido, lã mineral, fibra de coco e cortiça, etc.), espessuras e localização.

Os factores estudados são os que é necessário considerar para projectar um edifício, incluindo entre outros:

- forma e orientação do edifício;
- área de envidraçados, seu tipo e orientação;
- sistema ou dispositivos de sombreamento e de oclusão;
- tipo de material de isolamento, sua espessura e localização;

- quantidade de massa de armazenamento térmico interior exposta à radiação solar;
- cor do edifício e propriedades das superfícies (rugosidade, reflectância, etc.);
- estanquidade ao ar dos elementos constituintes da envolvente;
- potencialidade de ventilação natural (ventilação cruzada);
- solução construtiva;
- tipo, localização e espessura do material da camada resiliente dos pavimentos;
- existência ou não de lajetas flutuantes;
- existência ou não e características de suspensores acústicos de tectos falsos; e
- tipo de revestimento de piso.

Todos estes factores influenciam o comportamento térmico, acústico, o nível de iluminação, a qualidade do ar interior do edifício, mas uma solução que conduz ao melhor comportamento térmico pode não ser o mais eficiente no que diz respeito, por exemplo à iluminação, como é o caso, por exemplo, da existência de envidraçados na fachada Norte (garantem um nível de iluminação constante, e permitem a ventilação cruzada, mas uma área elevada, necessária para a iluminação conduz a perdas térmicas elevadas durante o Inverno e ganhos térmicos durante o Verão, bem como a redução do isolamento acústico da fachada).

Nas Tabela 3.3 e na Tabela 3.4 apresentam-se as características dos dois apartamentos e dos seus elementos construtivos.

Tabela 3.3 – Características dos Edifícios Base

Edifício Base	Área útil de pavimento	Pé-direito	Volume	Área de envolvente interior	Área de envolvente exterior	Factor de Forma
	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	(FF)
Apartamento 1	127,3	2,7	343,7	22,2	49,7	0,18
Apartamento 2	128,3	2,7	346,4	45,1	45,1	0,21

Assim, a optimização do comportamento dos edifícios e dos seus elementos, de modo a garantir as condições de conforto global é necessária, tendo em atenção o conforto térmico e a redução dos consumos energéticos, mas também as exigências acústicas, de iluminação, de QAI e a sustentabilidade dos mesmos, devendo escolher-se materiais de baixo impacte ambiental, assegurando o seu adequado funcionamento.

Tabela 3.4 – Características dos elementos construtivos

Elemento	Área [m ²]
Apartamento 1 - 10,3*15,0*2,7 m	
Cobertura	127,3
Pavimento	127,3
Paredes laterais	38,1 + 37,5
Parede anterior e posterior	25,1 + 25,1
Apartamento 2 - 18,4*8,4*2,7 m	
Cobertura	128,3
Pavimento	128,3
Paredes laterais	20,8 + 20,3
Parede anterior e posterior	45,4 + 45,4

3.3.2 Descrição dos Edifícios Avaliados na Campanha de Medições de IEQ In Situ

De forma a verificar as condições existentes no parque habitacional Português foi realizada uma avaliação in situ, em diversas cidades, dos factores que intervêm na qualidade ambiental interior (coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior, condições de iluminação natural, taxa de renovação de ar e de qualidade do ar interior, isolamento acústico).

De seguida descrevem-se as principais características dos edifícios analisados, designados por Edifício i - Habitação i.j (i - designação do edifício, j - designação da habitação).

São apresentadas as soluções construtivas dos elementos da envolvente e respectivos coeficientes de transmissão térmica, as características das superfícies interiores (cor e textura e reflectância) e dos envidraçados (dimensões, Superfície Relativa de Área Envidraçada, SRAE, dada pelo quociente entre a Área envidraçada útil e a Área útil de pavimento e a razão envidraçado parede).

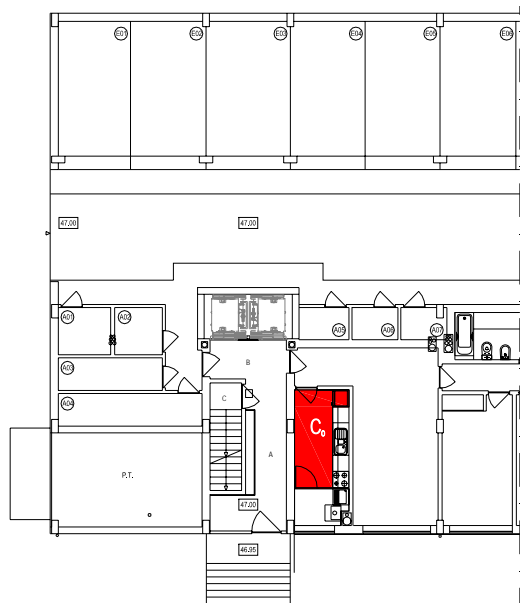
Edifício 1 - Habitação 1, 2 e 3

As Habitações 1.1, 1.2 e 1.3 pertencem a um edifício multifamiliar com duas frentes, construído em 2002, Edifício 1, com rés-do-chão e 4 pisos, sendo a fachada principal orientada a Sudeste (Figura 3.17).



Figura 3.17 - Fotografias das fachadas, principal, a Sudeste e posterior, a Noroeste, do Edifício 1

Os compartimentos onde foram efectuadas as medições, quarto, sala comum e cozinha, para vários tipos de envidraçados, não se encontravam mobilados, estão representados na Figura 3.18.



Planta do rés-do-chão

C_0 - Cozinha do rés-do-chão ($2,04 \times 3,62 \text{ m}^2$) com porta envidraçada na lavandaria ($2,04 \times 1,37 \text{ m}^2$) orientada a SE



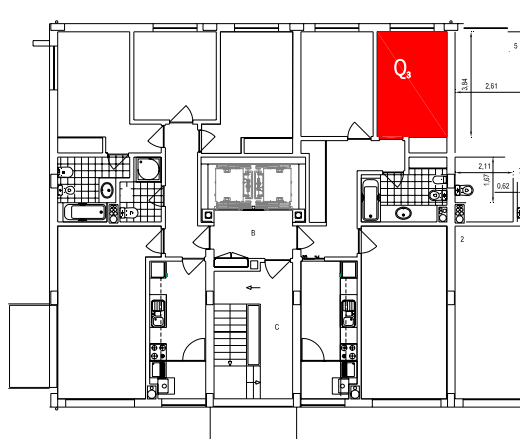
Planta do 1º Andar

C_1 - Cozinha ($2,04 \times 3,62 \text{ m}^2$) do 1º Andar com janela na lavandaria ($2,04 \times 1,37 \text{ m}^2$) orientada a SE

Q_1 - Quarto ($2,61 \times 3,84 \text{ m}^2$) do 1º Andar com porta envidraçada orientada a NW

S_{1SW} - Sala comum ($3,19 \times 6,31 \text{ m}^2$) do 1º Andar com porta envidraçada orientada a SE

S_{1SWE} - Sala comum ($3,19 \times 6,31 \text{ m}^2$) do 1º Andar com porta envidraçada orientadas a SW e SE



Planta do 3º Piso

Q_3 - Quarto ($2,61 \times 3,84 \text{ m}^2$) do 3º Andar com janela orientada a NW



Figura 3.18 - Localização dos compartimentos onde o FLD foi avaliado

Na Tabela 3.5 encontram-se as reflectância das superfícies interiores dos diversos compartimentos estudados.

Tabela 3.5 – Reflectância das superfícies interiores das habitações analisadas

Superfície interior	Cor	Textura	Condição	Reflectância (%)
Paredes (quarto)	Amarelo claro	Reboco liso	Limpo	76
Paredes (sala)	Amarelo claro	Reboco liso	Limpo	76
Paredes (cozinha)	Branco	Vidrado	Limpo	60
Tecto (quarto)	Branco	Reboco liso	Limpo	86
Tecto (sala)	Branco	Reboco liso	Limpo	86
Tecto (cozinha)	Branco	Reboco liso	Limpo	86
Pavimento (quarto)	Castanho claro	Madeira polida	Limpo	30
Pavimento (sala)	Castanho claro	Madeira polida	Limpo	30
Pavimentos (cozinha)	Cinzento-escuro	Madeira polida	Limpo	10
Mobiliário e paredes (quarto)	Castanho claro	Madeira polida	Limpo	31
Mobiliário e paredes (sala)	Castanho amarelado	Madeira polida	Limpo	31
Mobiliário e paredes (cozinha)	Azul-escuro	Vinil liso	Limpo	15

Na Tabela 3.6 encontram-se listadas as propriedades dos envidraçados dos compartimentos analisados.

Tabela 3.6 – Propriedades dos envidraçados

Superfície	Cor	Textura	Condição	Transmitância (%)
Vidro duplo (quarto)	Transparente	Lisa	Limpo	81
Vidro duplo (sala)	Transparente	Lisa	Limpo	81
Vidro duplo (cozinha)	Transparente	Lisa	Limpo	81
Vidro simples (cozinha)	Transparente	Lisa	Limpo	90

As dimensões dos envidraçados dos diversos compartimentos estudados são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3.7 – Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados - Edifício 1

Compartimento	Largura (m)	Altura (m)
Cozinha do rés-do-chão (C_0) com porta envidraçada na lavandaria orientada a SE	1,5	1,8
Cozinha do 1º Andar (C_1) com janela na lavandaria orientada a SE	1,5	1,0
Sala comum do 1º Andar com portas envidraçadas orientadas a SW e SE (S_{1SWSE})	3,0 + 2,5	2,0
Sala comum do 1º Andar com porta envidraçada orientada a SE (S_{1SE})	2,5	2,0
Quarto do 1º Andar com envidraçado orientado a NW	1,6	1,0
Quarto do 3º Andar com envidraçado orientado a NW	1,6	1,0

Envolvente:

O Edifício 1 possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico, sendo o pano exterior em tijolo maciço com 11 cm e o pano interior em tijolo furado com 15 cm, a caixa-de-ar, de 5 cm, é parcialmente preenchida com 4 cm de poliuretano projectado. A parede é revestida na sua face interior com 1,5 cm de estuque ($U = 0,54 \text{ W/m}^2\text{°C}$);

- parede interior dupla de alvenaria de tijolo furado com panos de 11 cm e 15 cm, com as faces rebocadas com 1,5 cm de espessura, com uma caixa-de-ar de 6 cm, parcialmente preenchida com 4 cm de lã rocha ($U = 0,47 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- laje de tecto e de pavimento constituídos por lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 25 cm de altura, sobre a qual existe uma camada de regularização com 12 cm de betão leve, uma camada de resiliente, com 1,5 cm de espuma de polietileno reticulado, uma lajeta de betão armado com 4 cm de espessura e uma camada de aglomerado negro de cortiça com 1,0 cm espessura. O acabamento superior da laje é de madeira com 1,5 cm e o acabamento inferior em estuque com 1,5 cm;
- cobertura plana constituída por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 25 cm de altura, sobre a qual existe uma camada de regularização com 12 cm de betão leve, 6 cm de poliestireno expandido extrudido em placas, geotextil e placas cerâmicas como revestimento exterior e reboco no interior ($U = 0,48 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 11 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- Os envidraçados possuem vidro duplo incolor, 6+8+5 mm de espessura e persianas de réguas plásticas de cor branca como sistema de sombreamento. A caixilharia, de correr, é de alumínio, sem corte térmico ($U = 3,30 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

O Edifício 1, com inércia térmica forte, possui um exaustor na cozinha e extractores nas instalações sanitárias, com funcionamento pontual.

Edifício 2 - Habitação 2.1

A Habitação 2.1, assinalada na Figura 3.19, é um apartamento T1, com 49 m², localizado no 1º andar de um edifício multifamiliar, Edifício 2, construído em 1999, localizado próximo de uma rua com elevada circulação automóvel.

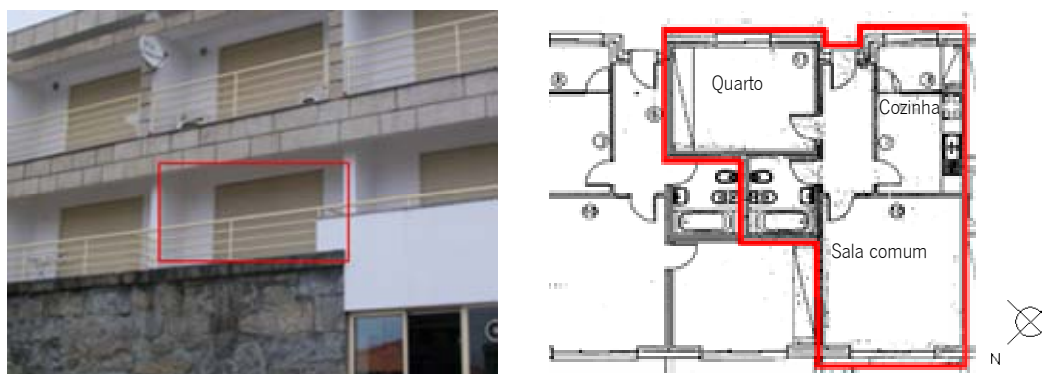


Figura 3.19 – Vista geral e planta da Habitação 2.1

A fachada principal, visível na Figura 3.19, é orientada a Noroeste, não possui obstáculos exteriores significativos que impeçam a entrada da iluminação natural, excepto as varandas e respectivas guardas e os elementos verticais de separação. A exposição ao vento desta fachada é elevada.

A fachada posterior da Habitação 2.1, orientada a Sudeste, tem como obstáculos para a iluminação um edifício com maior cêrcea do lado oposto do arruamento que reduz também a exposição ao vento.

A Habitação 2.1 é ocupada por duas pessoas, em geral, entre as 18h e as 10:30h.

No que respeita aos sistemas de ventilação, a habitação possui um extractor na instalação sanitária, accionado pelo interruptor de luz e um exaustor na cozinha.

Os moradores têm o hábito de abrir as janelas entre as 9:00h e as 10:30h e entre as 18:00h e as 20:00h.

No Inverno é utilizado um aquecedor eléctrico como sistema de aquecimento, que não estava ligado durante as medições, nem tinha estado em funcionamento nos dias anteriores.

Os compartimentos estudados foram a sala comum, a cozinha e o quarto (Figura 3.19), as suas características são apresentados na Tabela 3.8 e na Tabela 3.9.

Tabela 3.8 – Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 2.1

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Elemento	Reflectância (%)		
Paredes (pintada de cor branca, lisas)	85	85	
Parede (madeira)		10	
Parede (revestida a azulejo e moveis lacados brancos)			20
Tectos	85	85	85
Pavimento	10	40	10
Envidraçado	15	15	15

Tabela 3.9 – Características dos vãos envidraçados da Habitação 2.1

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Altura envidraçado	2,0 m	1,0 m	1,0 m
Largura envidraçado	2,4 m	1,5 m	1,5 m
Área envidraçado	4,8 m ²	1,5 m ²	1,5 m ²
Superfície Relativa de Área Envidraçada - SRAE	30%	14%	23%
Razão Envidraçado Parede - REP	32%	12%	17%
Tipo de vidro	Duplo	Duplo	Duplo
Aparência/Textura	Limpo/liso	Limpo/liso	Limpo/liso
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Estores exteriores; Não existem cortinas		

Envolvente:

O Edifício 2 possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 20 cm, com 3 cm de poliestireno expandido extrudido preenchendo parcialmente a caixa-de-ar de 6 cm. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor bege ($U = 0,51 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- cobertura plana constituída por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 25 cm de altura, sobre a qual existe uma camada de regularização com 12 cm de betão leve, 6 cm de poliestireno expandido extrudido em placas, geotextil e godó como camada de protecção exterior e reboco no interior ($U = 0,53 \text{ W/m}^2\text{°C}$);

- paredes de separação entre habitações duplas de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 11 cm, com 3 cm de poliestireno expandido extrudido preenchendo completamente a caixa-de-ar. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor bege ($U = 0,61 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 11 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico, excepto nos quartos em que o revestimento de piso é em soalho de madeira ($U = 1,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- Os envidraçados possuem vidro simples incolor, de 4 mm de espessura e persianas de régua plásticas de cor branca como sistema de sombreamento. A caixilharia, de correr, é de alumínio, sem corte térmico, de cor castanha ($U = 4,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

Na Tabela 3.10 listam-se as características dos compartimentos da Habitação 2.1 avaliados.

Tabela 3.10 – Características dos compartimentos da Habitação 2.1

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes e pavimento	Observações
Cozinha	Mobiliário em aglomerado de madeira, fogão, exaustor, microondas, frigorífico	Azulejo/ mosaico	A janela do compartimento raramente é aberta
Quarto	Mobiliário em madeira, tapetes	Tinta /soalho	A janela do compartimento raramente é aberta
Sala	Mobiliário em madeira, televisão, porta em vidro, sofás em tecido, tapetes	Tinta / mosaico	Neste compartimento encontram-se dois computadores ligados sempre que os habitantes estão em casa

Edifício 3 - Habitação 3

A Habitação 3, representada na Figura 3.20 é uma moradia unifamiliar, isolada, T4, de 2 pisos, construída em 1998, com cerca de 450 m².

O Edifício 3 possui 4 frentes, sendo a fachada principal orientada a sul. O edifício é muito exposto à acção do vento e não possui obstáculos significativos à iluminação natural, existindo apenas pequenas árvores junto aos envidraçados da sala.

A habitação é ocupada durante o dia por sete pessoas e durante a noite por seis. Um dos habitantes é fumador e fuma no interior da habitação.

A habitação possui extractores nas instalações sanitárias e um exaustor na cozinha, funcionando de forma pontual.

Os ocupantes abrem, em geral, as janelas dos quartos durante a manhã, nos restantes compartimentos não existe um padrão para a abertura das janelas.

A Habitação 3 possui um sistema de aquecimento constituído por radiadores a água associado a uma caldeira mural a gás natural. O sistema não se encontrava em funcionamento durante as medições.

Os compartimentos estudados foram a sala comum, a cozinha e um quarto (Figura 3.20), as suas características são apresentados na Tabela 3.11 e na Tabela 3.12.

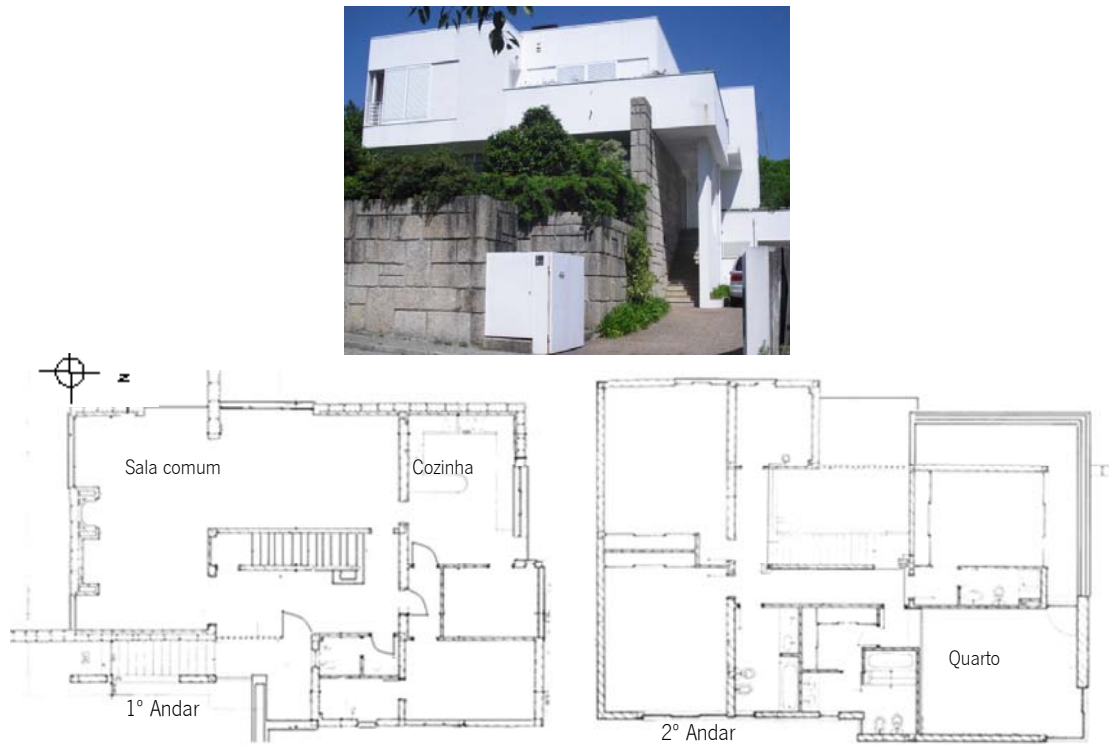


Figura 3.20 - Vista geral e planta da Habitação 3

Tabela 3.11 - Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 3

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Elemento	Reflectância (%)		
Paredes (pintada de cor branca, lisas)	85	85	
Parede (madeira cor de mel)		10	
Parede (revestida a azulejo e moveis lacados brancos)			20
Tectos	85	85	85
Pavimento	40	40	10
Envidraçado	15	15	15

Tabela 3.12 - Características dos vãos envidraçados da Habitação 3

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Altura	2,0m	2,0 m	1,0 m
Largura	1,3 + 2,2 + 2,3 + 3,3 m	1,0 + 1,2 + 1,2 m	2,3 m
Área	18,2 m ²	6,8 m ²	2,3 m ²
Superfície Relativa de Área Envidraçada - SRAE	35%	27%	12%
Razão Envidraçado Parede - REP	29%; 29%	8%; 12%; 19%	12%
Tipo de vidro	Duplo	Duplo	Duplo
Aparência/Textura	Limpo/liso	Limpo/liso	Limpo/liso
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Portadas exteriores; Cortinas transparentes de cor branca		

Envolvente:

O Edifício 3 possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 15 cm, com 4 cm de poliestireno expandido extrudido preenchendo parcialmente a caixa-de-ar de 6 cm. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor branca ($U = 0,51 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- cobertura plana constituída por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 20 cm de altura, sobre a qual existe uma camada de regularização com 12 cm de betão leve, 4 cm de poliestireno expandido extrudido em placas, geotextil e godó como camada de protecção exterior e reboco no interior ($U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 7 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico na cozinha e nas instalações sanitárias e soalho em madeira nos restantes compartimentos;
- Os envidraçados possuem vidro duplo incolor, de (4 + 6+ 6) mm de espessura e portadas exteriores deslizantes de cor branca como sistema de sombreamento. A caixilharia, de correr, é de alumínio, sem corte térmico, de cor branca ($U = 3,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

Na Tabela 3.13 listam-se as características dos compartimentos da Habitação 3 avaliados.

Tabela 3.13 – Características dos compartimentos da Habitação 3

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes / pavimento	Observações
Cozinha	Mobiliária em madeira, electrodomésticos (frigorífico, fogão, microondas, máquina de café), exaustor, cortinas transparentes	Azulejo/ mosaico	As medições foram realizadas depois do almoço
Quarto	Mobiliário em madeira, 2 Sofás, 3 tapetes de quarto, cortinas transparentes, duas portas de vidro	Tinta/soalho	O quarto tinha casa de banho privativa
Sala	Móveis em madeira, lareira, sofás em pele, 3 portas de vidro, carpetes, cortinas transparentes	Tinta/soalho	

Edifício 4 - Habitação 4

A Habitação 4, orientada a noroeste é uma habitação unifamiliar geminada, do tipo T3, com cave parcialmente enterrada, rés-do-chão e 1º andar, construída em 1993, com 310 m² (Figura 3.21).

A fachada principal é muito exposta à acção do vento e está localizada junto a uma estrada com significativa afluência de trânsito.

A Habitação 4 é ocupada por quatro pessoas que possuem um animal de estimação (gato) que tem livre circulação em toda a casa. Existem dois ocupantes em permanência na habitação, os restantes ocupantes estão em casa durante a noite e à hora das refeições.



Figura 3.21 - Vista geral e planta da Habitação 4

A habitação possui um exaustor na cozinha e extractores nas instalações sanitárias. Não existe um padrão para a abertura de janelas.

A Habitação 4 possui uma lareira com recuperador de calor com placas vitrocerâmicas na sala, uma lareira com recuperador na cozinha e por radiadores a óleo nos quartos.

A lareira com recuperador de calor com placas vitrocerâmicas da sala estava ligada aquando da realização das medições.

Os compartimentos estudados foram a sala comum, a cozinha e um quarto (Figura 3.21), as suas características são apresentados na Tabela 3.14, na Tabela 3.15.

Tabela 3.14 - Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 4

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Elemento	Reflectância (%)		
Paredes (pintada de cor branca, lisas)	85	85	
Parede (revestida a azulejo e moveis em madeira de cor escura)			20
Tectos	85	85	85
Pavimento	40	40	20
Envidraçado	15	15	15

Tabela 3.15 – Características dos vãos envidraçados da Habitação 4

Compartmento	Sala	Quarto	Cozinha
Altura	1,0 + 2,0 + 1,0 m	1,0 m	1,0 m
Largura	0,9 + 1,6 + 1,4 m	1,4 m	1,4 m
Área	5,5 m ²	1,4 m ²	1,4 m ²
Superfície Relativa de Área Envidraçada - SRAE	22%	11%	8%
Razão Envidraçado Parede - REP	23%; 8%	14%	10%
Tipo de vidro	Duplo	Duplo	Duplo
Aparência/Textura	Limpo/liso	Limpo/liso	Limpo/liso
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Portadas interiores; Cortinas brancas	Portadas interiores; Sem cortinas	Portadas interiores; Cortinas brancas

Envolvente:

O Edifício 4 possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 15 cm, com a caixa-de-ar de 5 cm, sem isolamento. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor branca ($U = 0,96 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- cobertura inclinada por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 15 cm de altura, com telha cerâmica e reboco no interior ($U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 11 cm na zona das instalações sanitárias e de 7 cm nas restantes zonas, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico na cozinha e nas instalações sanitárias e soalho em madeira nos restantes compartimentos;
- Os envidraçados possuem vidro duplo incolor, de (4 + 6+ 6) mm de espessura e persianas exteriores de cor branca como sistema de sombreamento. A caixilharia, de correr, é de alumínio, sem corte térmico, de cor branca ($U = 3,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

Na Tabela 3.16 listam-se as características dos compartimentos da Habitação 4 avaliados.

Tabela 3.16 – Características dos compartimentos da Habitação 4

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes / pavimento	Observações
Cozinha	Mobiliário em madeira, frigorífico, fogão, exaustor, esquentador, microondas, lareira com recuperador de calor, sofá em tecido	Tinta sem rugosidade / mosaico	As medições foram realizadas depois do almoço
Quarto	Mobiliário em madeira, tapetes, cortinas, papel	Tinta sem rugosidade / soalho	Neste compartimento existia uma grande quantidade de papel
Sala	Mobiliário em madeira, televisão, lareira com recuperador de calor com placas vitrocerâmicas, cortinas, sofás em pele	Tinta sem rugosidade / soalho	Neste espaço existe um computador. Os móveis tinham sido limpos pouco tempo antes de se efectuarem as medições.

Edifício 5 - Habitação 5.1

A Habitação 5.1 é um apartamento, de tipologia T3, construído em 1976 (Figura 3.22) com 123 m². A fachada principal está orientada a Noroeste. A habitação analisada localiza-se no 3º Andar e não possui obstáculos ao aproveitamento da luz natural, o edifício está protegido da acção do vento.

A Habitação 5.1 está localizada junto a uma estrada com significativa afluência de trânsito.

Na Habitação 5.1 existem 3 ocupantes, um em permanência e os restantes durante a noite e na hora das refeições.

As janelas dos quartos, são abertas todas as manhãs, as da sala normalmente são abertas durante a tarde e as da cozinha aquando da preparação das refeições.

Neste edifício não existem sistemas de extracção mecânica. São utilizados aquecedores eléctricos no Inverno que não estavam ligados durante as medições nem tinham sido ligados nas semanas anteriores.

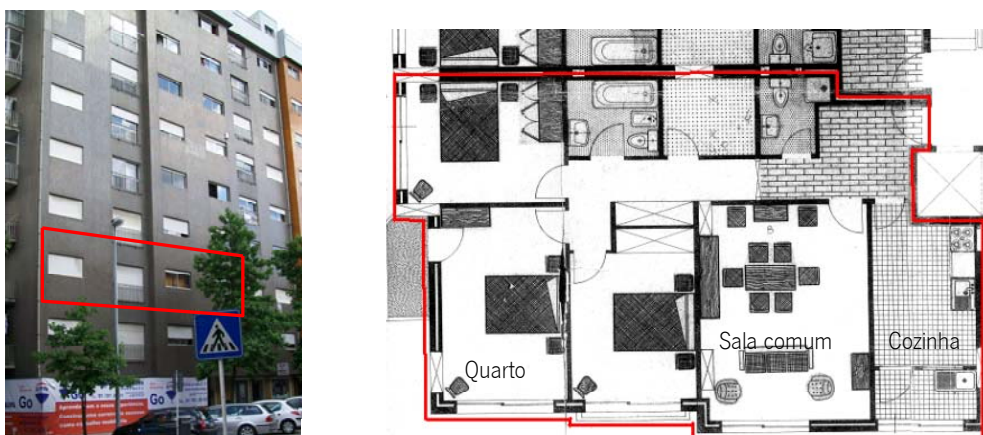


Figura 3.22 – Vista geral e planta da Habitação 5.1

Os compartimentos da Habitação 5.1 estudados foram o sala comum, a cozinha e um quarto (Figura 3.22), as suas características são apresentados na Tabela 3.17 e na Tabela 3.18.

Tabela 3.17 – Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 5.1

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Elemento	Reflectância (%)		
Paredes (pintada de cor branca, lisas)	85	85	
Parede (revestida a azulejo e moveis lacados azuis escuros)			20
Tectos	85	85	85
Pavimento	40	40	20
Envidraçado	15	15	15

Tabela 3.18 – Características dos vãos envidraçados da Habitação 5.1

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Altura	1,0 m	1,0 m	1,0 m
Largura	2,25 m	2,25 + 0,80 m	1,4 m
Área	2,25 m ²	3,05 m ²	1,4 m ²
Superfície Relativa de Área Envidraçada - SRAE	13%	23%	17%
Razão Envidraçado Parede - REP	17%	20%	4%
Tipo de vidro	Simplex	Simplex	Simplex
Aparência/Textura	Limpo/liso	Limpo/liso	Limpo/liso
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Estores exteriores; Sem Cortinas	Estores exteriores; Cortinas cor-de-rosa	Estores exteriores; Sem cortinas

Envolvente:

O Edifício 5 possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 7 cm + 15 cm, com a caixa-de-ar de 5 cm, sem isolamento. As paredes são rebocadas no interior e pintadas de cor branca, no exterior as paredes são revestidas com material cerâmico ($U = 1,19 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- cobertura inclinada por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 25 cm de altura, com telha cerâmica e reboco no interior ($U = 1,50 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 11 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico excepto no quartos em que o revestimento de piso é de soalho em madeira ($U = 1,46 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- Os envidraçados possuem vidro simples incolor, de 5 mm de espessura e persianas de cor branca como sistema de sombreamento. A caixilharia, de correr, é de alumínio, sem corte térmico, de cor branca ($U = 4,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

Na Tabela 3.19 listam-se as características dos compartimentos da Habitação 5.1 avaliados.

Tabela 3.19 – Características dos compartimentos da Habitação 5.1

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes / pavimento	Observações
Cozinha	Móveis em aglomerado de madeira, frigorífico, microondas, fogão, exaustor	Azulejo / mosaico	
Quarto	Móveis em contraplacado de madeira, cortinas leves, tapetes	Tinta sem rugosidade / soalho	
Sala	Móveis em madeira, sofás em tecido, cortina leve, velas, televisão	Tinta sem rugosidade / mosaico	Pintada 5 meses antes da realização das medições

Edifício 6 - Habitação 6.1

A Habitação 6.1, orientada a Norte, pertence a um edifício multifamiliar, construído em 1977, de tipologia T3, com 68 m² e localiza-se no 5º andar de um edifício multifamiliar (Figura 3.23). O edifício localiza-se numa zona urbana circulação automóvel significativa e com exposição ao vento baixa. Os envidraçados deste apartamento não possuem obstáculos à entrada da iluminação natural.

A Habitação 6.1 é ocupada por 3 pessoas durante a noite e à hora das refeições.

A Habitação 6.1 possui extractores nas instalações sanitárias e um exaustor na cozinha. As janelas são abertas com regularidade.

Como sistemas de aquecimento são utilizados aquecedores eléctricos. Estes equipamentos não foram, no entanto, ligados nos dias anteriores nem no dia em que se efectuaram as medições.

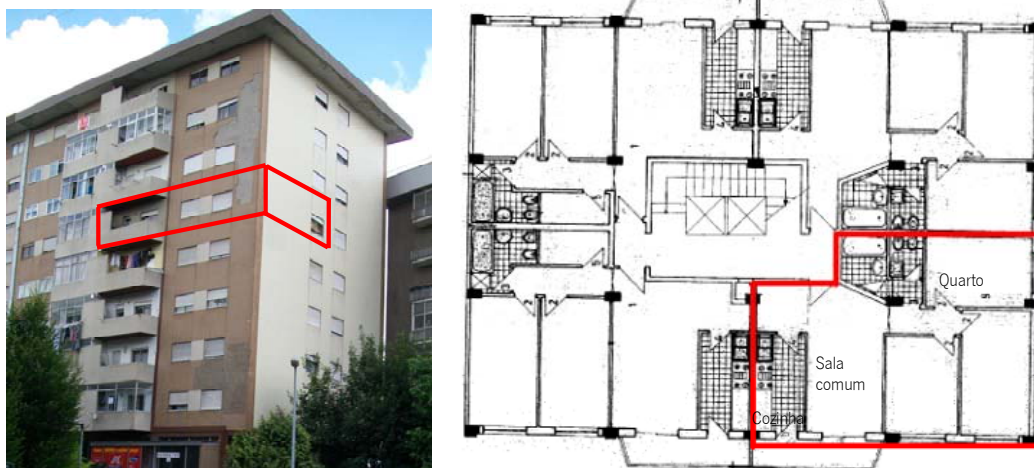


Figura 3.23 – Vista geral e planta da Habitação 6.1

Os compartimentos da Habitação 6.1 estudados foram o sala comum, a cozinha e um quarto (Figura 3.23), as suas características são apresentados na Tabela 3.20 e na Tabela 3.21.

Tabela 3.20 – Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 6.1

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Elemento	Reflectância (%)		
Paredes (pintada de cor branca, lisas)	85	85	
Parede (revestida a azulejo e moveis em madeira de cor escura)			20
Tectos	85	85	85
Pavimento	10	40	20
Envidraçado	15	15	15

Tabela 3.21 – Características dos vãos envidraçados da Habitação 6.1

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Altura	2,0 m	1,0 m	2,0 m
Largura	1,5 m	1,5 m	0,8 m
Área	3,0 m ²	1,5 m ²	1,6 m ²
Superfície Relativa de Área Envidraçada - SRAE	11%	19%	25%
Razão Envidraçado Parede - REP	26%	14%	21%
Tipo de vidro	Simple	Simple	Simple
Aparência/Textura	Limpo/liso	Limpo/liso	Limpo/liso
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Estores exteriores; Cortinas brancas		Estores exteriores; Sem cortinas

Envolvente:

O Edifício 6 possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 7 cm + 15 cm, com a caixa-de-ar de 5 cm, sem isolamento. As paredes são rebocadas no interior e pintadas de cor branca, no exterior as paredes são revestidas com material cerâmico ($U = 1,19 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- cobertura inclinada por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 15 cm de altura, com telha cerâmica e reboco no interior ($U = 1,50 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes interiores são simples de tijolo cerâmico de 15 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 11 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico excepto no quartos em que o revestimento de piso é de soalho em madeira ($U = 1,46 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- Os envidraçados possuem vidro simples incolor, de 5 mm de espessura e persianas de cor branca como sistema de sombreamento. A caixilharia, de correr, é de alumínio, sem corte térmico, de cor branca ($U = 4,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

Na Tabela 3.22 listam-se as características dos compartimentos da Habitação 6.1 avaliados.

Tabela 3.22 – Características dos compartimentos da Habitação 6.1

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes / pavimento	Observações
Cozinha	Mobiliário em madeira, fogão, exaustor, esquentador e frigorífico	Azulejo / mosaico	As medições foram realizadas depois da hora de almoço
Quarto	Mobiliário em madeira, cortinas leves e tapetes	Tinta sem rugosidade / soalho	
Sala	Mobiliário em madeira, cortinas leves, tapete, sofá em tecido e televisão	Tinta sem rugosidade / mosaico	

Edifício 7 - Habitação 7.1

A Habitação 7.1 é um apartamento de tipologia T1, com 66 m² (Figura 3.24), situado no R/C de um edifício multifamiliar datado de 2000. Na Figura 3.24 apresenta-se uma vista do alçado principal da habitação e a planta da mesma.

Esta habitação tem apenas uma parede em contacto com o exterior, sendo esta orientada a Nordeste, com uma razoável exposição ao vento e junto a uma via com grande afluência de tráfego.

A Habitação 7.1 é ocupada por 2 durante a noite e nas horas das refeições. A varanda acoplada à sala e à cozinha é utilizada como zona de fumadores.

Existe um extractor na instalação sanitária e um exaustor na cozinha, funcionando de forma pontual. A janela da sala é aberta de forma regular.

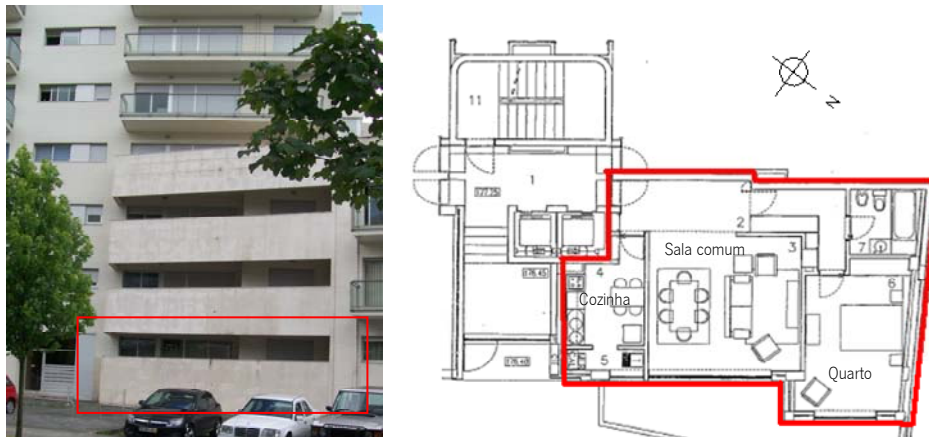


Figura 3.24 – Alçado principal e planta da Habitação 7.1

A Habitação 7.1 possui um sistema de aquecimento central (radiadores a água associados a uma caldeira mural a gás) que raramente é ligado, sendo utilizados aquecedores eléctricos de forma pontual. Nenhum dos equipamentos estava em funcionamento aquando da realização das medições ou nos dias anteriores.

Os compartimentos da Habitação 7.1 estudados foram o sala comum, a cozinha e um quarto (Figura 3.24), as suas características são apresentados na Tabela 3.23 e na Tabela 3.24.

Tabela 3.23 – Reflectâncias das superfícies interiores dos compartimentos da Habitação 7.1

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Elemento	Reflectância (%)		
Paredes (pintada de cor branca, lisas)	85	85	
Parede (revestida a azulejo e moveis lacados brancos)			20
Tectos	85	85	85
Pavimento	10	40	20
Envidraçado	15	15	15

Tabela 3.24 – Características dos vãos envidraçados da Habitação 7.1

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Altura	2,0 m	2,0 m	2,0 m
Largura	4,0 m	2,1 m	0,8 m
Área	8,0 m ²	4,2 m ²	1,6 m ²
Superfície Relativa de Área Envidraçada - SRAE	28%	27%	13%
Razão Envidraçado Parede - REP	43%	32%	13%
Tipo de vidro	Duplos	Duplos	Duplos
Aparência/Textura	Limpo/liso	Limpo/liso	Limpo/liso
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Estores exteriores; Cortinas brancas		Estores exteriores; Sem cortinas

Envolvente:

O Edifício 7 possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 15 cm, com a caixa-de-ar de 5 cm, com 3 cm de poliestireno expandido extrudido. As paredes são rebocadas no interior e pintadas de cor branca, no exterior as paredes são revestidas com material pético ($U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- cobertura plana constituída por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 20 cm de altura, sobre a qual existe uma camada de regularização com 12 cm de betão leve, 4 cm de poliestireno expandido extrudido em placas, geotextil e godó como camada de protecção exterior e reboco no interior ($U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes interiores são simples de tijolo cerâmico de 11 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- paredes divisórias duplas de tijolo cerâmico 11 + 11 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico excepto no quartos em que o revestimento de piso é de soalho em madeira ($U = 1,46 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- Os envidraçados possuem vidro duplo incolor, de 4 + 6 + 8 mm de espessura e persianas de cor branca como sistema de sombreamento. A caixilharia, de correr, é de alumínio, sem corte térmico, de cor cinza ($U = 3,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

Na Tabela 3.25 listam-se as características dos compartimentos da Habitação 7.1 avaliados.

Tabela 3.25 – Características dos compartimentos da Habitação 7.1

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes / pavimento
Cozinha	Mobiliário metálico, microondas, fogão, exaustor, máquina de lavar roupa, máquina de lavar louça, cortinas leves	Tinta sem rugosidade/ mosaico
Quarto	Mobiliário em madeira, sofá em pele, tapetes, cortinas leves, vários peluches	Tinta sem rugosidade/ soalho
Sala	Mobiliário em madeira, sofás em pele, vários peluches, cortinas leves, material de escritório	Tinta sem rugosidade/ mosaico

Edifício 8 - Habitação 8.1 e Habitação 8.2

O Edifício 8 é um edifício de habitação multifamiliar, construído em 1983, orientado a Sul, constituído por três andares, cave parcialmente enterrada, destinada a arrumos e a estacionamento, e dois andares de habitação, localizada em Fafe (Zona Climática I2 V2N a 359 m de altitude, tal como representado na Figura 3.25), numa zona muito exposta.

O Edifício 8 possui ventilação natural e inércia térmica forte.

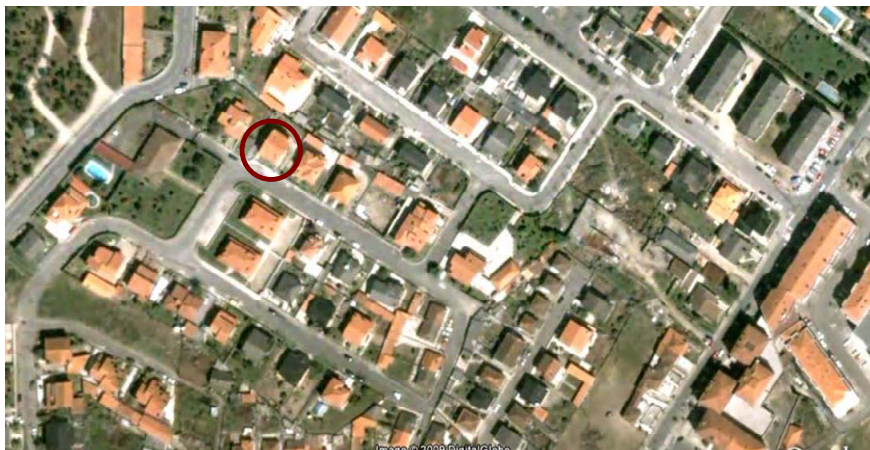


Figura 3.25 - Localização do Edifício 8 (Google Earth, 10/01/2009)

A Habitação 8.1 localiza-se no rés-do-chão é do tipo T3+1. A Habitação 8.2, localizada no primeiro andar é do tipo T3, possuindo ainda um sótão habitável, tal como representado na Figura 3.26 e na Figura 3.27. Na Tabela 3.26 apresentam-se as características geométricas das habitações do Edifício 8.



Figura 3.26 - Alçado principal do Edifício 8

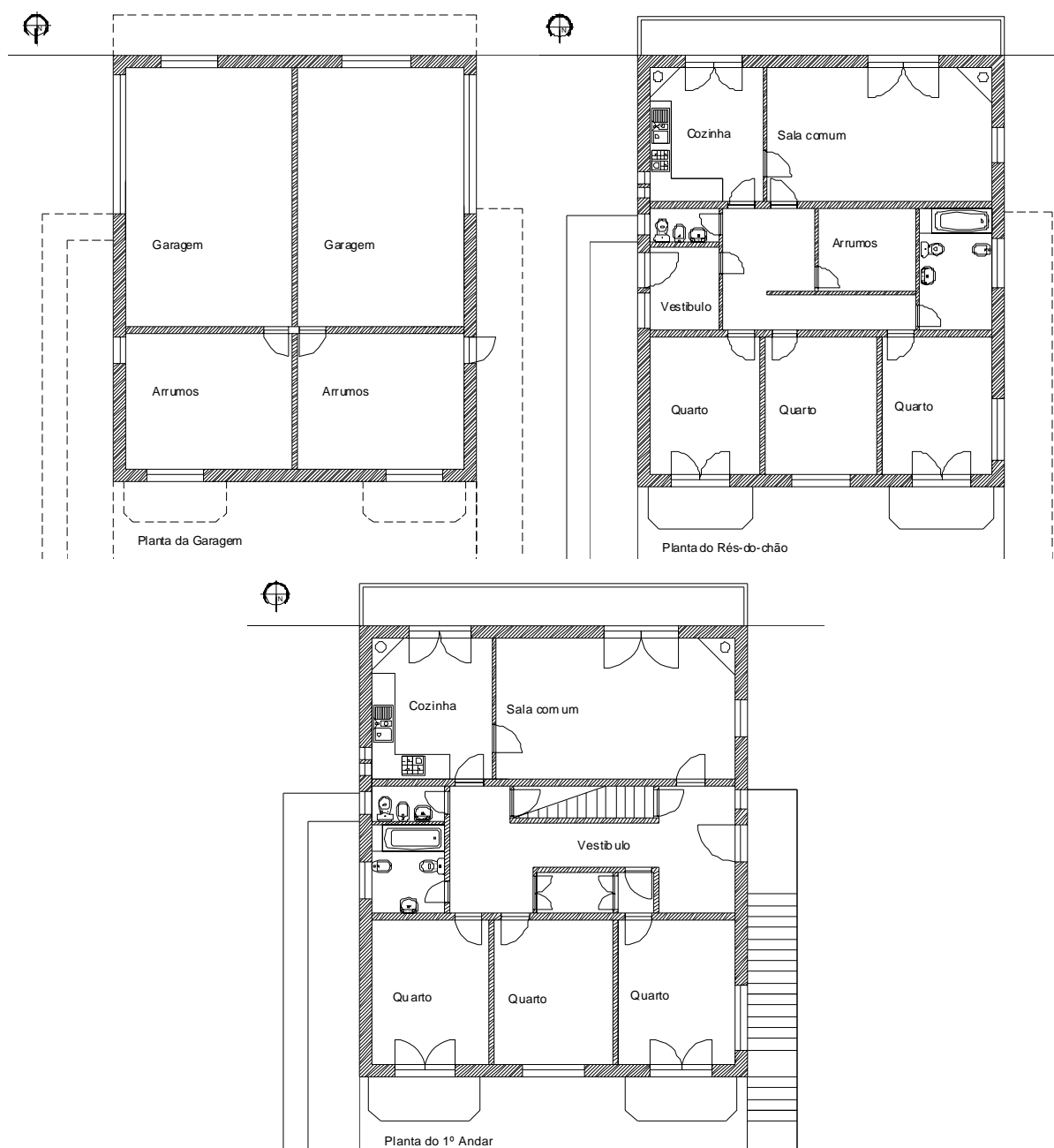


Figura 3.27 - Planta da cave, R/C e 1º Andar do Edifício 8

Tabela 3.26 – Características geométricas das habitações do Edifício 8

Edifício 8 Fafe, I2 V2N 359 m	Área útil de pavimento [m ²]	Pé- direito [m]	Volume [m ³]	Área de envolvente interior [m ²]	Área de envolvente exterior [m ²]	Factor de Forma (FF)
Habitação 8.1 (R/C)	110,8	2,7	299,2	109,0	115,56	0,67
Habitação 8.2 (1º Andar e sótão)	105,0 107,4	2,7 2,0	283,5 214,4	-	115,56 44,6+128,4	0,79

Envolvente:

O Edifício 8 possui:

- paredes exteriores duplas, com 35 cm, com pano exterior em blocos de betão, com 20 cm, e pano interior em tijolo cerâmico furado, com 7 cm (Tipo 1), excepto no vestíbulo, onde a parede é do tipo simples de blocos de betão com 20 cm de espessura (Tipo 2). As paredes são rebocadas pelo exterior (pintadas de cor branca) e estucadas no interior (cor bege), excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico; ($U_{\text{estimado}} = 1,11 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $U_{\text{medido}} = 1,25 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $U_{\text{Vestibulo estimado}} = 1,87 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- cobertura inclinada constituída por uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas e abobadilha em poliestireno expandido extrudido (EPS) com 10 cm de espessura, 5 cm de camada de recobrimento em betão, com telha cerâmica como revestimento exterior e rebocada pelo interior ($U_{\text{estimado}} = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 7 cm e 11 cm, estucadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 20 cm, camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico, excepto nos quartos onde o revestimento é em parquet de madeira ($U_{\text{estimado exterior}} = 2,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $U_{\text{estimado interior}} = 1,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- Os envidraçados possuem vidro duplo incolor, com dois panos de 4 mm de espessura e persianas de réguas plásticas de cor branca como sistema de sombreamento, cortinas muito transparentes de cor clara no rés-do-chão e cortinas opacas de cor clara, tal como mostra a Figura 3.28 no 1º andar. A caixilharia é de alumínio, sem corte térmico, no rés-do-chão as janelas de correr ($U_{\text{estimado}} = 3,40 \text{ W/m}^2\text{°C}$) e no 1º andar giratórias ($U_{\text{estimado}} = 3,60 \text{ W/m}^2\text{°C}$).



Figura 3.28 - Tipo de sistema de sombreamento, persiana de cor clara e cortina transparente de cor clara

Edifício 9 - Habitação 9.1

O Edifício 9 é um edifício de habitação multifamiliar, construído em 1982, constituído por três andares, a cave parcialmente enterrada, destinada a arrumos e a estacionamento, dois andares de habitação e sótão habitável, localizada na Guarda (Zona Climática I3 V1N) a 829 m de altitude, tal como representado na Figura 3.29, numa zona muito exposta.

A Habitação 9.1, com ventilação natural e inércia térmica forte, localiza-se no primeiro andar é do tipo T3+1, tal como representado na Figura 3.29.



Figura 3.29 – Localização do Edifício 9 (Google Earth, 20/10/2008)

Na Tabela 3.27 apresentam-se as características geométricas das habitações do Edifício 9.

Tabela 3.27 – Características geométricas das habitações do Edifício 9

Edifício 9 Guarda, I3 V1N 829 m	Área útil de pavimento [m ²]	Pé-direito [m]	Volume [m ³]	Área de envolvente interior [m ²]	Área de envolvente exterior [m ²]
Habitação 9.1 (1º Andar)	122,9	2,6	319,7	25,0	109,7

Envolvente:

O Edifício 9 possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 11 cm, com 3 cm de poliuretano projectado preenchendo completamente a caixa-de-ar. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor bege ($U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- cobertura inclinada sobre sótão habitável constituída por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 20 cm, camada de regularização com 5 cm, com telha cerâmica como revestimento exterior e rebocada pelo interior ($U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 7 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;

- pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico, excepto nos quartos onde o revestimento é em parquet de madeira ($U = 2,15 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- Os envidraçados possuem vidro simples incolor, de 4 mm de espessura e persianas de réguas plásticas de cor branca como sistema de sombreamento. A caixilharia, de correr, é de alumínio, sem corte térmico, de cor castanha ($U = 4,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

3.4 Programas de Simulação do Comportamento de Edifícios (higrotérmico, acústico, lumínico e QAI)

Para o estudo, análise e simulação do comportamento térmico de edifícios existem vários programas de simulação dinâmica, como por exemplo, EnergyPlus, VisualDOE, Ecotect, ESP-r, TRNSYS, Blast.

O isolamento a sons aéreos e a sons de percussão depende da inércia e das características elásticas (rigidez e amortecimento interno) dos elementos definidores da compartimentação considerada, existindo diversas modelações para a sua caracterização, algumas delas implementadas em sistemas de cálculo automático.

Existem vários métodos para caracterizar o isolamento a sons aéreos e a sons de percussão de elementos de compartimentação, tanto interior como exterior de edifícios, os quais se podem subdividir em métodos de medição e métodos de estimação.

Nos métodos de medição tem-se respectivamente: o método de avaliação experimental (ISO/CEN); o método de holografia acústica; e o método de intensimetria sonora. Estes métodos baseiam-se na realização de campanhas de medições adequadas, podendo ter lugar in situ e/ou em laboratório.

As medições realizadas in situ possibilitam a avaliação da conformidade do isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão dos edifícios com objectivos fixados (legais ou programáticos).

Quanto às medições realizadas em laboratório, dado serem executadas em condições padronizadas, tanto no que respeita a instalações (câmaras reverberantes) como a dimensões dos provetes para ensaio, apenas permitem atribuir uma quantificação do isolamento sonoro assegurado por determinada solução construtiva, caracterizando, assim, o seu comportamento e possibilitando a realização de comparações de eficácia acústica.

Nos métodos de estimação do isolamento sonoro a sons de condução aérea pode considerar-se métodos de estimativa: tal como o “Método Misto de Meisser”, baseado na Lei da Massa e da Frequência; o método elasto-dinâmico; o método de E. Gerretsen; o método de análise modal; o método dos elementos finitos (FEM); e o método de análise estatística de energia (SEA).

Nos métodos de estimação do isolamento sonoro a sons de percussão encontra-se o método do invariante ($R_w + L'_{n,w}$), o método de R. Josse, o método de E. Gerretsen, o método de análise modal, o método dos elementos finitos (FEM) e o método de análise estatística de energia (SEA).

Estes métodos apoiam-se em formulação teórica que pode traduzir, de uma forma mais ou menos aproximada, o comportamento vibracional dos elementos de compartimentação em questão. Todavia, a aplicação da formulação em causa pode necessitar, de acordo com a sua complexidade, de um tratamento razoavelmente simples ou do recurso a metodologias numéricas mais sofisticadas.

Por norma, os métodos de estimação só se aplicam na fase de concepção de uma certa solução, ou seja, na que se relaciona com a definição dos elementos de compartimentação de uma determinada edificação (fase de projecto).

No Anexo II descreve-se o método utilizado nas avaliações in situ para quantificação de desempenho acústico de elementos da envolvente, no que se refere à avaliação da conformidade regulamentar de soluções existentes, o método de caracterização experimental (ISO/CEN), correspondente às medições de isolamento a sons de condução aérea e de percussão realizadas nas Células de Teste de Edifícios não Convencionais e em alguns edifícios do parque habitacional português.

No ponto 3.4.9 descreve-se o método utilizado na fase de projecto, o método elasto-dinâmico, correspondente ao modelo de simulação designado comercialmente por Acoubat Sound “Acoustique du Bâtiment” e no ponto 3.4.10 a base de dados de soluções construtivas utilizada.

O modo como a circulação de ar no interior dos edifícios é feita influencia a qualidade do ar interior (QAI) e as cargas de condicionamento térmico do espaço. O correcto dimensionamento dos sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) deve ter em consideração a circulação de ar no interior.

Os fluxos de ar e a sua distribuição no interior de um edifício são causados por diferenças de pressão que podem ser induzidas pelo vento, diferenças de temperatura (gradiente térmico), ventilação mecânica, ou por uma combinação destes factores. Factores relacionados com as propriedades do edifício, tais como a distribuição das aberturas (envidraçados) na envolvente, os caminhos internos e a actividade dos ocupantes pode também criar diferenças internas de pressão.

Existem dois métodos para a caracterização do nível da circulação de ar no interior dos edifícios: através de medições utilizando técnicas de gases traçantes e, usando modelos matemáticos para simular os fluxos de ar no interior, podendo estes ser modelos empíricos, modelos multizona e modelos CFD (computational fluid dynamics – dinâmica dos fluidos computacional).

As medições com base em gases traçantes podem determinar os fluxos de ar entre o interior e o exterior, bem como os fluxos entre zonas. No entanto, devido ao facto de as medições de gases traçantes reflectirem as condições climáticas e de escoamento preponderantes no momento de medição, a sua utilização para a caracterização da circulação global é limitada.

Assim, para descrever os fluxos de ar para diferentes condições climáticas e de escoamento foi desenvolvido um conjunto de modelos matemáticos que descrevem o fluxo de ar entre zonas. Uma vantagem destes modelos é o facto de, além de definirem os fluxos de ar, permitirem também simular o transporte de poluentes no interior.

Em relação ao estudo da radiação solar, as características de iluminação e ventilação dos edifícios podem utilizar-se programas tais como o Radiance, o Relux, o RETScreen, para o primeiro e o Comis, o Aiolos e o natVent para o segundo.

Os programas de simulação do comportamento higratérmico, EnergyPlus, VisualDOE permitem também avaliar as condições de iluminação e de ventilação no interior dos edifícios.

O Ecotect, além da realização do estudo das condições de iluminação e de ventilação permitem também estimar o comportamento acústico do edifício.

As características de cada um destes programas e métodos de cálculo serão descritos, com mais detalhe de seguida.

3.4.1 EnergyPlus

O EnergyPlus é um programa de simulação desenvolvido nos Estados Unidos (US Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy, Lawrence Berkeley National Laboratory), editado em 2001,

incorporando modelos para as várias componentes do edifício desenvolvidos em todo o mundo (código Open Source).

O EnergyPlus é um programa de simulação numérica de edifícios, baseado no DOE-2 e no BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics), com numerosas potencialidades adicionais, permitindo a realização de simulações com intervalos de tempo inferiores a uma hora, estudar sistemas modulares, fluxos de ar multizona, conforto térmico e de sistemas fotovoltaicos (Crawley. et al, 1999).

O EnergyPlus é um programa com estrutura modular, e usa técnicas de balanço térmico para simular as cargas térmicas do edifício.

O EnergyPlus baseia-se numa filosofia de simulação integrada do Edifício e do Sistema AVAC (Crawley et al. 2002), o que conduz a uma previsão mais rigorosa da temperatura nos espaços e, deste modo, a uma melhor estimativa dos parâmetros resultantes, como por exemplo o conforto térmico.

O cálculo das cargas térmicas é baseado na abordagem de balanço térmico da ASHRAE (Strand et al. 2001). O EnergyPlus possui também um fluxo de ar inter-zona, absorção e desabsorção, definições de sistemas de controlo de AVAC, sistemas de aquecimento e arrefecimento radiativo.

A principal vantagem do EnergyPlus é o cálculo simultâneo de cargas e sistemas. As cargas internas são calculadas por um motor de balanço térmico e depois enviadas para o módulo de simulação dos sistemas, no mesmo intervalo de tempo.

O EnergyPlus é um programa de simulação para estimar as exigências de aquecimento, arrefecimento, iluminação e ventilação de edifícios, entre outros fluxos de energia (Figura 3.30 e Figura 3.31).

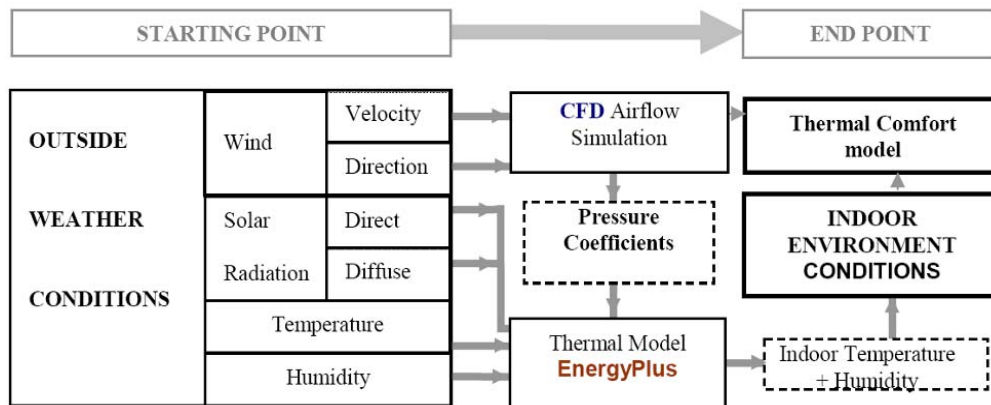


Figura 3.30 – Esquema de princípio do EnergyPlus

A estrutura do EnergyPlus, representada na Figura 3.31, abrange três componentes: o módulo de simulação (simulation manager), o módulo de simulação do balanço térmico e de massa (heat and mass balance simulation module, representado na Figura 3.32) e o módulo de simulação de sistemas (building systems simulation module).

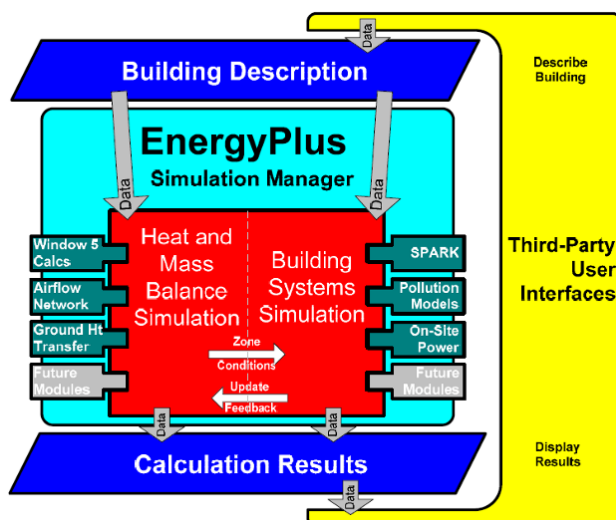


Figura 3.31 - Estrutura do EnergyPlus (EnergyPlus 2005)

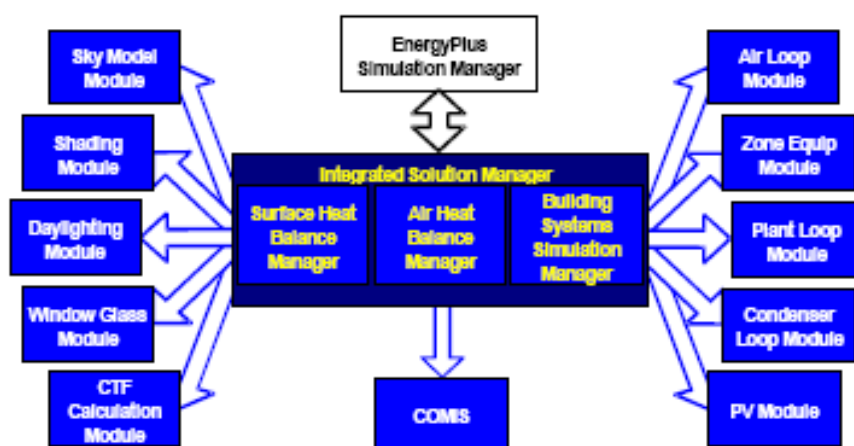


Figura 3.32 - Módulo de balanço térmico do EnergyPlus (EnergyPlus, 2005)

O módulo de simulação controla toda a simulação, fornecendo os dados de entrada e liga os outros módulos a outros programas. O módulo de balanço térmico e de massa aplica os princípios de conservação de massa e energia para calcular a transferência de energia através de uma zona. O módulo de simulação dos sistemas lida com a comunicação entre a equação de balanço de calor e os módulos dos sistemas AVAC (chillers, bombas de calor e outros equipamentos/componentes). Este módulo não limita o utilizador à selecção de um sistema pré-definido, permitindo a simulação de um qualquer sistema.

Desde o seu desenvolvimento e lançamento da primeira versão, em Abril de 2001, o EnergyPlus foi alvo de diversas actualizações e sujeito a vários testes de validação, analíticos (comparando com soluções matemáticas), comparativos (comparando com outros programas, BESTEST, ASHRAE 140), de sensibilidade (comparando pequenas alterações dos dados com uma base) e empíricos (comparação com dados experimentais) (ASHRAE 140, 2001; Neymark and Judkoff 2002; Witte et al, 2001).

O EnergyPlus é um programa de simulação autónomo, sem uma interface gráfica amigável sendo os dados necessários à simulação e os resultados editados em ficheiros de texto, podendo ser utilizado com diferentes interfaces (incluindo CAD) e ferramentas de análise de resultados (incluindo o Excel).

No entanto, dispõe de uma interface muito simples que permite (Figura 3.33):

- Dar ordem de simulação;
- Escolher os dados climáticos para a simulação;
- Visualizar os ficheiros de *output*;
- Aceder ao ficheiro CAD *do edifício*.

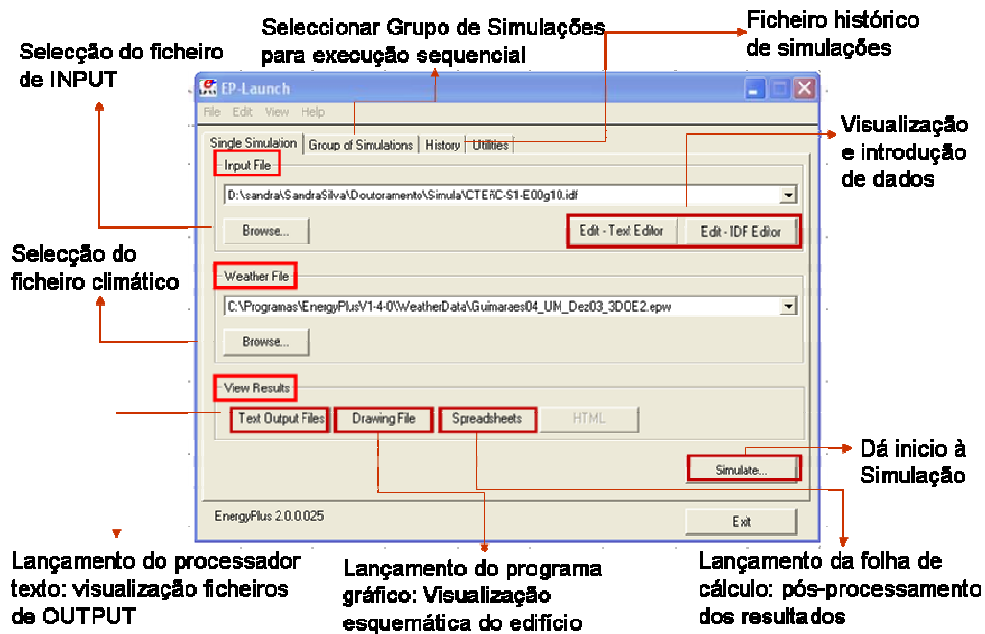


Figura 3.33 – EP-LAUNCH gestor executivo do EnergyPlus

Existem também (na página da Internet onde o programa, de utilização gratuita, é disponibilizado um conjunto de programas de interface, mais ou menos sofisticados, uns gratuitos e outros não, que facilitam a introdução de dados).

Este programa está constantemente a ser desenvolvido por investigadores a nível mundial, sendo cada a nova versão disponibilizada no site do Lawrence Berkeley National Laboratory.

O EnergyPlus pode ser utilizado para a realização dos estudos necessários para a certificação energética de edifícios.

Este programa recebeu um conjunto de prémios (R&D 100 Award, em 2003, tendo sido reconhecido como um dos 100 novos produtos tecnologicamente significativos, tendo a equipa que o desenvolve recebido o Award for Excellence in Technology Transfer, em 2002 e 2004 e o IT Quality Award for Technical Excellence em 2002).

O EnergyPlus permite a simulação em intervalos de tempo entre 1 hora e 10 minutos utilizando dados climáticos horários de um ano representativo do clima local, definindo modelos detalhados de:

- Transferências radiativas e convectivas em superfícies exteriores e interiores;
- Sistemas de AVAC (elevada flexibilidade);
- Trocas de calor como terreno de implantação;
- Transferência de massa (absorção de humidade, produção no interior);

- Conforto térmico dos ocupantes;
- Modelo de “céu” anisotrópico;
- Simulação de sistemas de iluminação natural e híbridos (controle automático);
- Simulação de *Displacement Ventilation* (ventilação do tipo deslocamento);
- Simulação de temperaturas e caudais de ventilação natural (Comis Studio).

Em relação a outras ferramentas disponíveis o EnergyPlus destaca-se nos seguintes pontos:

- Maior rigor na modelação da geometria do edifício (incluindo sombreamento e reflexão da luz por edifícios adjacentes);
- Integração de modelos que facilitam os estudos de optimização energética (iluminação natural e artificial com “dimmers”, sistemas de ventilação natural e híbrida, superfícies radiantes, painéis solares, etc.);
- Todas as versões são testadas.

Ficheiros de Input do EnergyPlus mais importantes:

- Energy+.idd → Definição dos objectos e estrutura do EnergyPlus;
- In.idf → Definição do edifício e sistema de AVAC;
- Energy+.ini → Ficheiro de inicialização do EnergyPlus;
- in.epw → Ficheiro climático (1250 locais de todo o mundo).

Os Ficheiros Climáticos de Portugal disponíveis são os de:

- Bragança;
- Coimbra;
- Évora;
- Faro;
- Funchal;
- Lajes;
- Lisboa;
- Porto.

No pacote de dados climáticos para cada localização existem três ficheiros:

- *.ddy - Dia característico para dimensionamento;
- *.epw - Ficheiro com os dados climáticos horários;
- *.stat - Ficheiro com os dados estatísticos resumidos.

Os ficheiros de Output do EnergyPlus mais importantes:

- eplusout.err → Ficheiro com mensagens, avisos, erros severos e fatais;

- eplusout.eso → Ficheiro com os resultados da simulação. Após um pós-processamento pode ser importado para uma folha de cálculo;
- eplusout.rdd → Ficheiro que indica as variáveis disponíveis para output (T_a , T_s , Hr, etc.);
- eplusout.dxf → Esquema gráfico do edifício.

A simulação de um edifício em EnergyPlus desenvolve-se em duas fases:

- Construção do edifício, sendo necessário introduzir as coordenadas de cada vértice de cada elemento de cada zona do edifício;
- Introdução de todos os parâmetros que lhe são inerentes, tais como:
 - características da envolvente;
 - sombreamentos;
 - ganhos internos;
 - sistema AVAC.

A construção do edifício (apenas características físicas) pode ser feita através da introdução directa no IDF Editor ou utilizando uma interface gráfica que permita, rapidamente, criar o “esqueleto” do edifício (Figura 3.34), como por exemplo o DesignBuilder, descrito na secção 3.4.2.

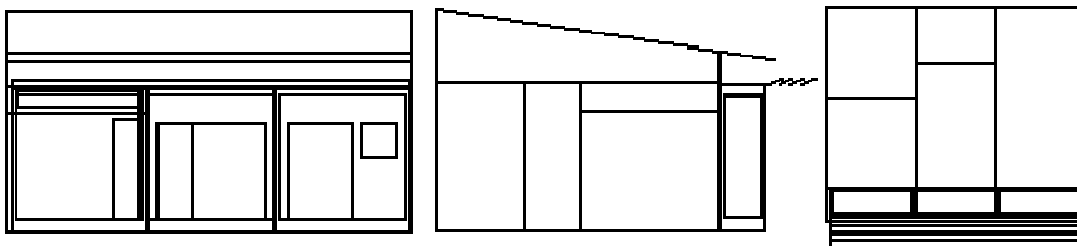


Figura 3.34 – Representação das Células de Teste de Edifícios não Convencionais no EnergyPlus (Alçados Sul e Oeste e Planta de Cobertura)

A passagem do DesignBuilder para o EnergyPlus não é directa porque o nome pelo qual as zonas foram designadas não passa directamente para o ficheiro .idf do EnergyPlus, assim, depois de criado o .idf é necessário fazer a alteração manual dos nomes das zonas.

Os passos a seguir na preparação de uma simulação são:

- I - Analisar o projecto procurando prever o tipo de sistema a utilizar e quantas zonas distintas de controlo (ou zonas com sistema distinto existirão);
- II - Obter o ficheiro de dados climáticos do local ou de um local próximo;
- III - Dividir o edifício num conjunto de zonas térmicas (não necessariamente compartimentos) e simplificar a geometria o mais possível tendo em conta as aproximações do modelo utilizado;
- IV - Recolher informação sobre os materiais utilizados, os ganhos internos e os períodos de utilização prevista;
- V - Planear o conjunto de simulações a realizar, alternativas de geometria, ganhos e composição da envolvente a considerar;

VI -Após introdução dos dados base fazer um conjunto de simulações exploratórias e voltar a pensar sobre o projecto, refazer o ponto V.

Para uma dada simulação o EnergyPlus utiliza o ficheiro de dados climáticos seleccionado no Ep-Launch durante o período seleccionado no .idf Editor.

Existem ainda dados adicionais que não são retirados directamente do ficheiro climático, devendo ser introduzidos pelo utilizador a partir de dados do mesmo ficheiro:

- Temperatura do terreno em contacto com as fundações (um valor para cada mês do ano a retirar do ficheiro, depende da profundidade);
- Dia característico para dimensionamento de aquecimento e arrefecimento.

3.4.2 DesignBuilder

O software DesignBuilder é uma interface para o programa de simulação térmica dinâmica EnergyPlus, que permite uma rápida e fácil introdução de geometrias e oferece um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios.

O DesignBuilder combina as funcionalidades de rápida modelação de edifícios e facilidade de uso com simulação energética dinâmica, oferecendo uma plataforma de modelação de edifícios em 3D de fácil e rápida manipulação (Figura 3.35).

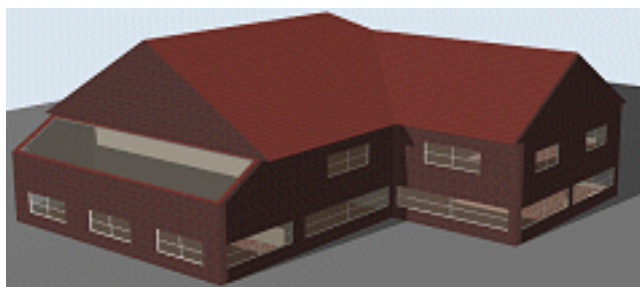


Figura 3.35 – Visualização 3D de um edifício no DesignBuilder

O DesignBuilder combina um motor gráfico, com o motor de cálculo EnergyPlus. Esta ferramenta é inovadora em termos de funcionamento do modelo 3D, possibilitando editar o modelo em tempo real e produzir renderizações, de forma a um melhor controlo da simulação.

Os usos típicos desta ferramenta incluem a análise do desempenho energético dos edifícios; avaliação das fachadas em termos visuais; avaliação da ventilação natural; modelos de iluminação natural, dimensionamento dos equipamentos AVAC.

Não há limitações de geometrias tridimensionais e estão disponíveis elementos realísticos que fornecem de forma visual e imediata detalhes como espessuras de paredes, janelas, lajes, implementação de caixilhos e molduras de janelas e ainda permitem uma excelente visualização de áreas e volumes.

As principais características do DesignBuilder:

- As pré-definições permitem que se atribuam aos modelos dados e características de construções, actividades e ocupações, sistemas de AVAC e iluminação, tudo a partir de menus simples;
- O utilizador poderá construir as suas próprias pré-definições, consoante as necessidades de cada projecto;

- Tudo isto, combinado com a estrutura hierarquizada, permite que se defina e altere, de forma rápida, as características do edifício, desde o nível mais geral - o edifício - ao nível mais detalhado - partes constituintes das zonas, como paredes, tectos etc.;
- Por fim, os dados das simulações são apresentados sem necessidade de se recorrer a módulos externos. No entanto, esses dados podem sempre ser exportados, caso utilizador tenha uma necessidade específica.

O primeiro passo será seleccionar o local de implantação e o ficheiro climático correspondente (formato .epw), seguido da introdução dos dados geométricos da habitação, o que pode ser executado através:

- da introdução de um modelo já existente (formato CAD, dxf ou imagem);
- do desenho do modelo através da interface CAD integrado no programa.

Permite, através da utilização das bases de dados de materiais, construções, envidraçados, janelas e sombreadores construir o edifício 3D e exportá-lo, posteriormente para o EnergyPlus.

Possui também um conjunto de parâmetros, tais como as cargas internas (padrões de ocupação e utilização), sistemas de iluminação e climatização.

Os passos a seguir na introdução do edifício são:

- 1 - Adicionar novo edifício;
- 2 - Traçar o contorno do edifício (depois de desenhada a base e definido o pé-direito é imediatamente extrudido o piso);
- 3 - Introduzir as partições, ou seja, paredes interiores do edifício;
- 4 - Introdução das portas;
- 5 - Adicionar as janelas;
- 6 - Repetir os passos anteriores para os restantes andares introduzindo um novo bloco;
- 7 - Introdução de blocos para definição da cobertura;
- 8 - Exportar para o EnergyPlus.

O DesignBuilder pode também simular o comportamento do edifício para o dia de projecto ou anualmente, pode também ser realizada a verificação do edifício de acordo com a regulamentação térmica do local de implantação do edifício (RCCTE e RSECE para Portugal).

Na Figura 3.36 apresenta-se o fluxo de dados no DesignBuilder.

A utilização do DesignBuilder é facilitada pelas janelas de ajuda e pelos tutoriais, em formato vídeo.

A utilização do DesignBuilder inclui a análise de opções para a envolvente, avaliação da iluminação natural, visualização da envolvente do edifício e do sombreamento, simulação térmica da ventilação natural e o dimensionamento de sistemas AVAC (DesignBuilder, 2007).

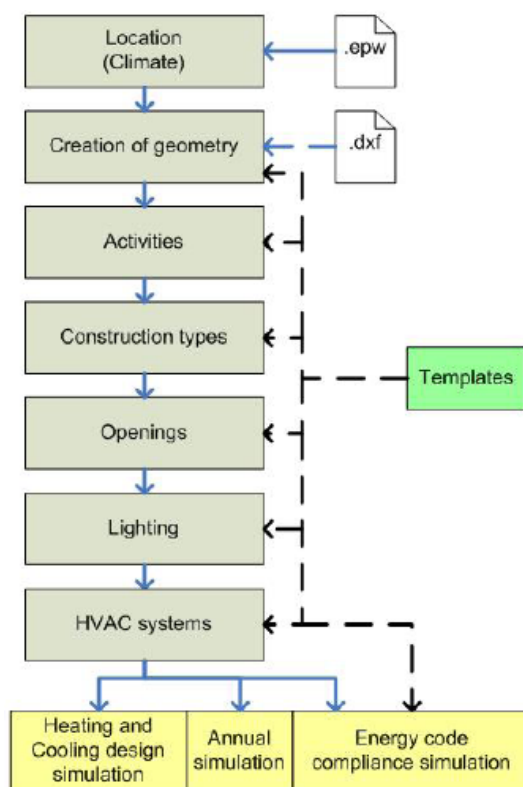


Figura 3.36 – Organograma representativo do funcionamento do DesignBuilder (Maile, 2007)

3.4.3 VisualDOE

O VisualDOE é uma aplicação em ambiente Windows que permite estimar a performance energética dos edifícios.

O VisualDOE é uma interface para o programa de simulação energética de edifícios, DOE2, poderosa, mas fácil de usar. Este programa é desenvolvido por arquitectos e engenheiros como uma ferramenta para ser utilizada pelos projectistas para estimar, de forma rigorosa, o desempenho de várias soluções alternativas para o projecto de um edifício

A versão 3.1 do VisualDOE pode ser considerada como gráfica, pois permite um maior controlo, em tempo real, da introdução dos elementos geométricos do edifício a partir de imagens que o programa produz, as quais podem ser actualizadas a qualquer momento, tem a possibilidade de editar as peças desenhadas simplesmente com a utilização do ponteiro do rato.

Pode ser utilizado sem conhecimentos de programação, tornando mais simples a avaliação da performance energética dos edifícios.

Pode ser utilizado para calcular os consumos energéticos e para a certificação energética de edifícios. É um programa de simulação voltado para o estudo do comportamento térmico de edifícios climatizados.

O motor de cálculo utilizado para a simulação horária das cargas térmicas é a ferramenta DOE-2.1E (Figura 3.37).

O VisualDOE inclui o estudo dos principais sistemas dos edifícios, incluindo a iluminação natural e a iluminação artificial, sistemas AVAC, aquecimento de água e a envolvente do edifício. Dos diversos resultados obtidos das simulações destacam-se os consumos de gás e de electricidade, temperaturas, fluxos de ar, cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, podendo os cálculos ser efectuados hora a

hora, para uma análise mais detalhada, possibilitando a avaliação dos consumos energéticos e dos impactos de diversos projectos alternativos (até 20).

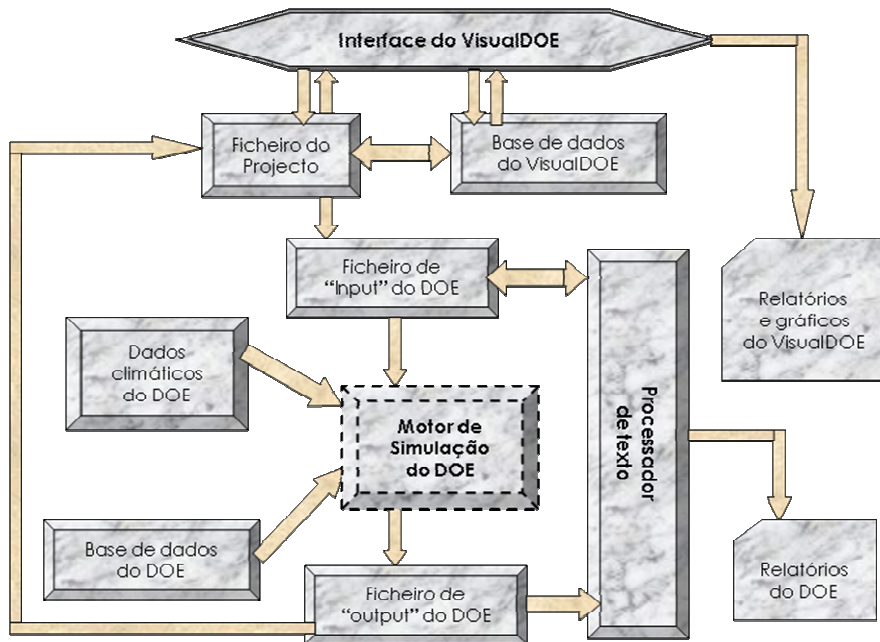


Figura 3.37 – Organograma representativo do funcionamento do Visual DOE

A metodologia utilizada pelo VisualDOE permite utilizar todas as potencialidades já existentes do DOE-2.1E, mas simplificando o processo de execução do seu ficheiro de “input”.

Para simular a performance energética de um edifício utilizando o VisualDOE, é necessário considerar três passos distintos:

- Introdução dos dados do projecto;
- Execução da simulação;
- Análise dos resultados.

O VisualDOE permite realizar uma análise do ciclo de vida de diversas alternativas (Life Cycle Cost Analysis), criar o ficheiro de dados, simular e criar o ficheiro de resultados.

A definição da geometria dos edifícios pode ser realizada utilizando as ferramentas de desenho do programa, através de diversas formas, ou importando os dados geométricos do AutoCAD.

Permite simular o sombreamento sazonal do edifício, analisar sistemas de controlo da iluminação natural, sistemas de armazenamento térmico e de co-geração.

O VisualDOE permite copiar os relatórios, com gráficos e tabelas, que produz e a isometria do edifício estudados para folhas de cálculo ou processadores de texto.

As livrarias do programa podem ser modificadas para alterar os modelos de ocupação, incluir novos tipos de materiais e soluções construtivas.

Antes de iniciar a utilização do programa é conveniente configurar as bases de dados existentes no VisualDOE, introduzindo as soluções e materiais que não estão pré-definidos mas vão ser utilizados no caso de estudo. Assim as bases de a definir são:

- Vãos [openings];
- Vidros [Glazings];
- Materiais [Materials];
- Elementos de Construção [Constructions];
- Tipos de Ocupação [Occupancy];
- Horários [Schedules];
- Taxas de Utilização [Utility rates].

Com todas as bases de dados preenchidas, é desencadeada a introdução dos elementos referentes ao edifício em estudo.

O VisualDOE está subdividido em 6 pastas contendo os diferentes elementos a introduzir:

Pasta Projecto [Project] - contém informações genéricas sobre o projecto em estudo, como o nome, localização, etc.;

Pasta Blocos [Blocks] - definição das características geométricas do edifício de duas formas: utilizar as geometrias predefinidas do programa; utilizar uma geometria específica e inserir os dados geométricos;

Pasta Compartimentos [Rooms] - Nesta pasta são definidos os parâmetros relativos aos diversos compartimentos presentes no edifício, tal como a potência de iluminação e equipamentos, o tipo de ocupação, se é um espaço útil ou não-útil e a taxa de infiltração (Figura 3.38).

Pasta Envolvente [Facades] - Aqui definem-se os elementos construtivos das paredes da envolvente, assim como a integração dos vãos envidraçados;

Pasta Sistemas de Climatização [Systems] - Nesta pasta é possível configurar o(s) sistema(s) de climatização a utilizar. O VisualDOE possui uma vasta gama de sistemas, desde pavimentos radiantes para aquecimento, até sistemas de ar-condicionado multi-zona;

Pasta Zonas [Zones] - Esta pasta tem como intuito a configuração do termóstato dos equipamentos de aquecimento e/ou arrefecimento, assim como do caudal de ar de entrada e de escape.

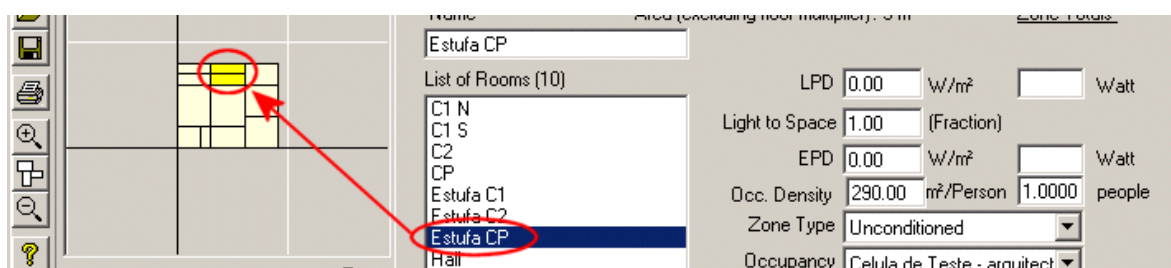


Figura 3.38 – Visualização do VisualDOE

Com todos os dados relativos ao projecto inseridos, já é possível executar uma simulação inicial, de forma a avaliar a performance energética do edifício.

No VisualDOE a configuração da simulação está subdividida em 3 pastas contendo diferentes elementos:

Pasta Simulação - Esta pasta serve apenas para ordenar a execução da simulação pretendida, além de possuir duas opções:

- 1 - utilizar um ficheiro de "input" já existente - esta opção é apresentada para que se possam editar os ficheiros de "input" criados pelo VisualDOE;
- 2 - não criar relatórios horários - esta opção é útil para casos onde apenas se está a testar várias opções e assim resulta num processo mais célere.

Pasta Relatórios Padrão - aqui é possível seleccionar uma grande variedade de relatórios de saída do VisualDOE, possuindo resultados anuais ou mensais;

Pasta Relatórios Horários - várias opções de relatórios de saída do VisualDOE, em valores horários.

A análise dos resultados obtidos pelo VisualDOE pode ser executada a partir de dois grupos de resultados:

- Relatórios e gráficos realizados pelo VisualDOE;
- Relatórios realizados pelo DOE-2.1E.

A grande diferença estes grupos de resultados é que os realizados especificamente pelo VisualDOE já seguem uma plataforma Windows (possibilitando exportar os resultados para outros programas) enquanto que os do DOE-2.1E seguem a plataforma DOS, o que os torna mais difíceis de utilizar.

3.4.4 Ecotect

Ecotect é um software de simulação do comportamento de um edifício que se destina a ser utilizado, por arquitectos e engenheiros, nas primeiras fases de projecto, os modelos de simulação utilizados são simples, permitindo a avaliação do desempenho, no entanto para a realização de estudos mais rigorosos este programa permite exportar os modelos para programas mais rigorosos, como por exemplo o EnergyPlus e o ESP-r para o estudo do comportamento térmico, ou o Radiance para o estudo das condições de iluminação.

Possui uma interface a três dimensões, que facilita a definição do edifício. Permite avaliar as condições de sombreamento, exigência de sistemas de sombreamento, acesso solar, níveis de iluminação natural e artificial, exposição aos ventos dominantes, conforto térmico e desempenho acústico do edifício (Figura 3.39).

Esta ferramenta deve ser usada na fase de projecto pois permite testar rapidamente várias hipóteses.

Possibilita também a verificação dos custos iniciais, custos de operação e a análise do ciclo de vida em todas as fases do processo de projecto.

O **Ecotect** é uma ferramenta de análise de edifícios simplificada, visual, interactiva e simples de utilizar que possui várias vertentes:

- Análise solar (é possível verificar o sombreamento do edifício devido à envolvente);
- Regulamentação térmica (não contempla os regulamentos portugueses);
- Desempenho lumínico;
- Comportamento térmico;

- Custos e impacte ambiental;
- Desempenho acústico.

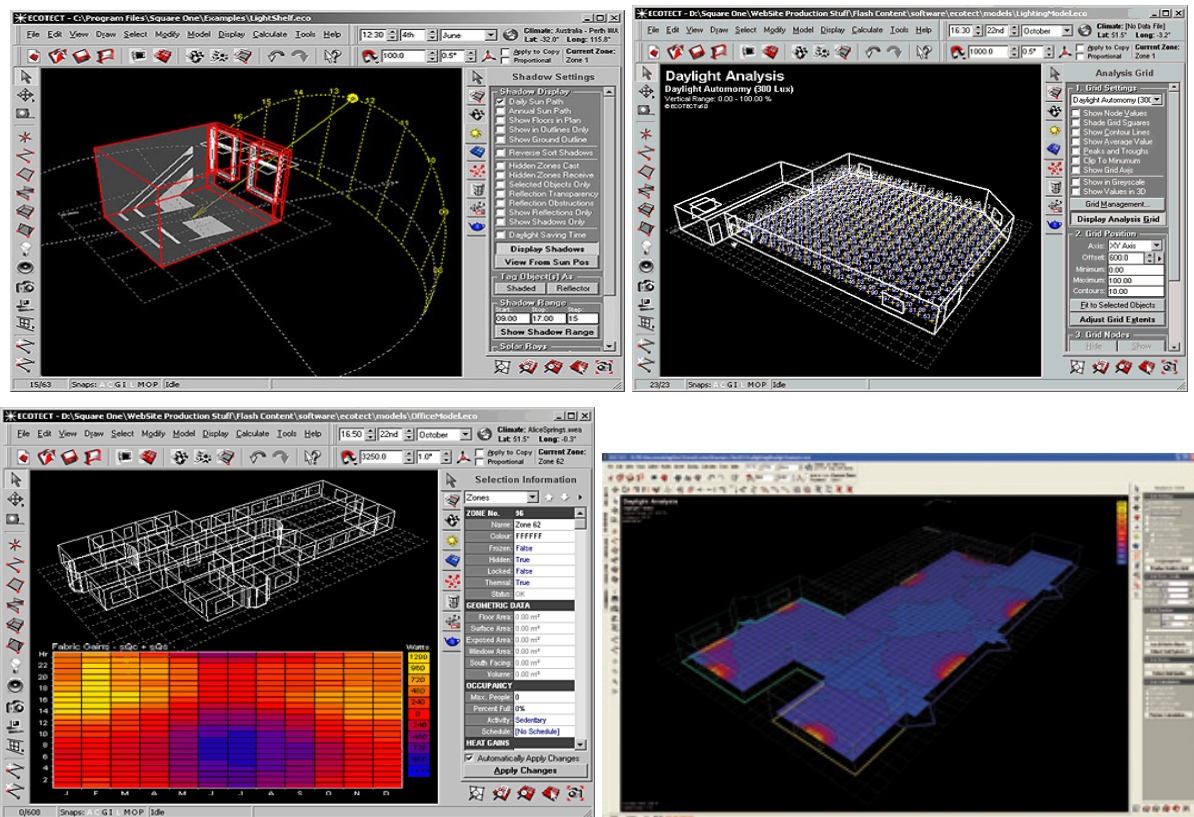


Figura 3.39 – Possibilidades de análise de edifícios utilizando o Ecotect

Esta ferramenta possui um motor gráfico 3D, simples de utilizar, possibilitando a criação de modelos em pouco tempo. Os modelos geométricos podem ser gerados, por exemplo no SketchUp, no ArchiCAD, ou diversos outros programas de CAD 3D.

No entanto não tem um elevado grau de precisão, podendo ser necessário utilizar outra ferramenta para a validação final.

Para a introdução de dados esta ferramenta também possui bases de dados próprias para completar o modelo criado:

- **Materiais** – definição dos vários materiais utilizados nos componentes da envolvente;
- **Gestão das Zonas** – escolha dos equipamentos de AVAC a utilizar, a ocupação, ganhos térmicos devido aos equipamentos, etc.;
- **Horários** – seleccionar taxas, fracções, períodos temporais, temperaturas, são utilizados na definição dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento, AQS, iluminação, equipamentos diversos, etc..

Uma das principais mais-valias desta ferramenta é a possibilidade de exportar o modelo criado para várias outras ferramentas (Figura 3.40), possuindo módulos próprios de ligação, onde se pode calcular o modelo criado com o motor de cálculo das outras ferramentas.

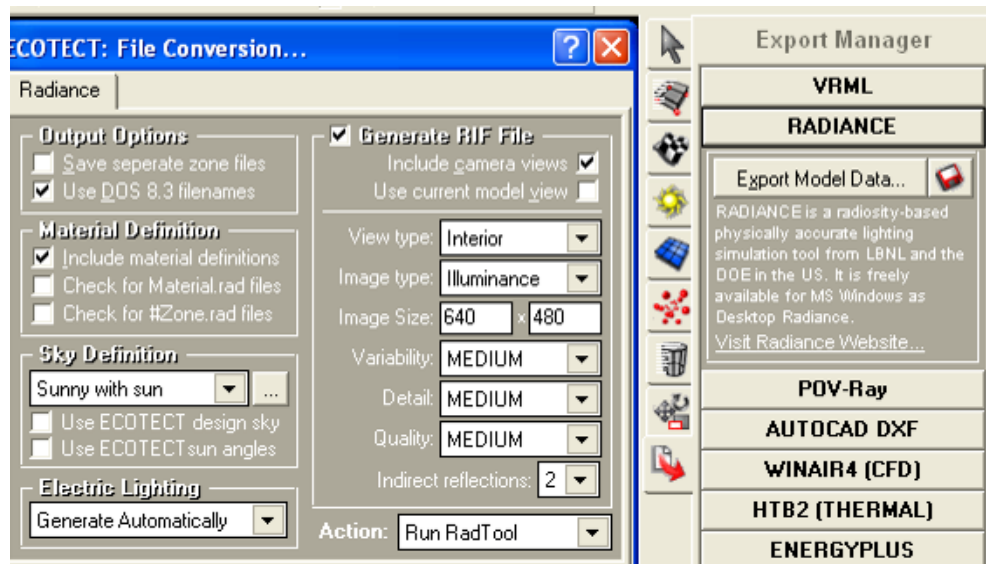


Figura 3.40 – Exportação do modelo criado no Ecotect

3.4.5 Comis

COMIS (Conjunction Of Multizone Infiltration Specialists) é um programa de simulação das condições de ventilação.

O programa COMIS 3.0 é um modelo de fluxo de ar multi-zona desenvolvido, ao abrigo do Annex 23 da Agência Internacional de Energia, para simular a circulação de ar através da envolvente dos edifícios devido a infiltrações ou à ventilação natural e de zona para zona, e, as interações dos sistema AVAC e ductos

No COMIS cada zona é representada por um valor único para a temperatura ambiente e pressão e está ligado a outras zonas e ao exterior através de caminhos de fluxo (Figura 3.41).

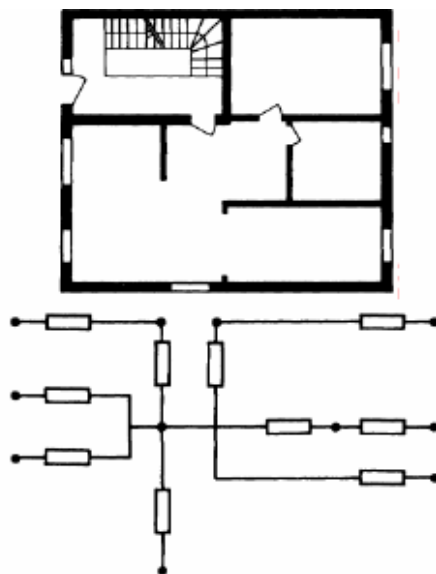


Figura 3.41 – Representação de um edifício e da sua representação numa rede nodal - COMIS (Feustel, 1999)

O COMIS pode ser usado como um programa autónomo ou como um modelo de estudo de infiltrações integrado em programas de simulação do comportamento térmico de edifícios, como é o caso do EnergyPlus e do TRNSYS, tal como foi referido (Feustel e Raynoor, 1990; Feustel and Smith, 1997; Dorer e Weber, 1994).

O COMIS modela o fluxo de ar e a distribuição de contaminantes no interior de edifícios. O programa pode simular diversos componentes que influenciam o fluxo de ar: fissuras, ductos, encaixes de ductos (ligações entre ductos), ventiladores, controladores de fluxo, grandes aberturas verticais (janelas e/ou portas), exaustores de cozinha, efeito de chaminé e componentes definidos pelo utilizador.

O COMIS permite ao utilizador definir “schedules” que descrevam as mudanças na distribuição da temperatura interior, utilização de ventoinhas, concentração de poluentes nas diferentes zonas, fontes e dissipadores de poluentes, abertura de portas e janelas e os dados climáticos. Devido à flexibilidade da definição do intervalo de tempo de análise o COMIS permite a simulação com intervalos de tempo independentes da frequência dos dados climáticos fornecidos.

O cálculo do fluxo de ar realizado pelo COMIS é baseado na suposição de que o fluxo de ar atinge o estado estacionário em cada intervalo de tempo. O transporte de contaminantes é baseado num modelo dinâmico e tem um intervalo independente, baseado na constante de tempo da zona mais critica. Os dois modelos são depois conjugados. Os resultados são apresentados em forma de tabela, podendo também ser apresentada em forma gráfica por algumas interfaces.

3.4.6 Radiance

O Radiance é um programa de simulação das condições de iluminação natural e artificial, em constante desenvolvimento, rigoroso e fisicamente válido, de utilização gratuita para fins não comerciais (G.J. Ward, 1994; G.J. Ward, R. Shakespeare et al., 1998).

É um programa com uma estrutura modular que possui uma grande flexibilidade para dar resposta a um conjunto situações, fornecendo um conjunto variado de resultados e, em conjugação com a ligação ao AutoCAD, que facilita a introdução de dados e a visualização das condições de iluminação.

A ferramenta *Desktop Radiance* pode ser considerado como um módulo “Plug-In” que se instala em ferramentas tipo CAD (Figura 3.42) e tem como finalidade a optimização dos sistemas de iluminação (natural ou artificial).

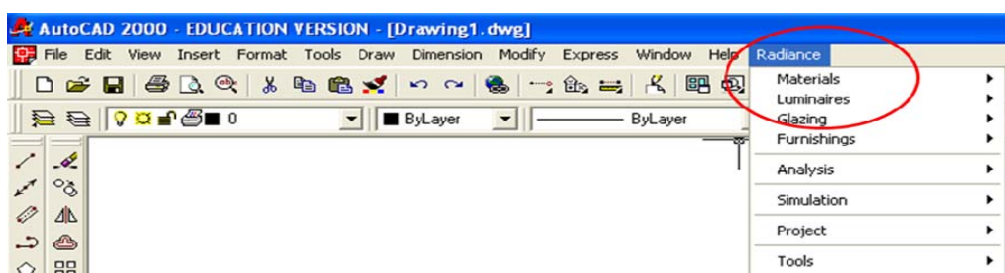


Figura 3.42 – Radiance

Apesar da visualização realista das condições de iluminação é necessário assegurar a correcta modelação do fenómeno físico, em especial quando se pretende quantificar o ambiente lumínico interior, que em relação à iluminação natural quer em relação à iluminação artificial (por exemplo: o factor da luz do dia, a distribuição da luminância, como no exemplo apresentado na Figura 3.43 e iluminância e a avaliação do conforto visual).

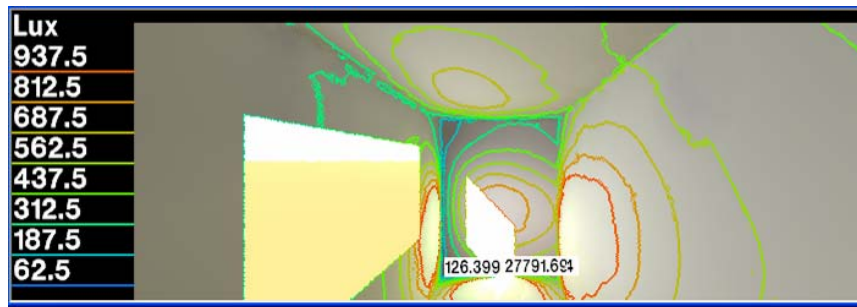


Figura 3.43 – Visualização de resultados do Radiance

O programa Radiance permite a simulação avançada de sistemas de iluminação, calcula valores de radiação espectral (iluminância e cor) e irradiância espectral de espaços interiores e exteriores, considerando iluminação natural e artificial. É usado para prever a iluminação, qualidade visual e aspecto de espaços, para avaliar sistemas de iluminação natural e artificial e estudar o conforto visual e ambiente visual.

A avaliação da performance lumínica através desta ferramenta segue quatro passos:

- Criação de um modelo 3D;
- Utilização das bases de dados existentes (Figura 3.44) para definir os materiais, envidraçados, luminárias e mobiliário do caso de estudo;
- Definição dos parâmetros de análise como o posicionamento da câmara, pontos de referência, orientação e zona a calcular;
- Finalmente é possível exportar a geometria e os parâmetros de análise e assim executar a simulação. Onde é utilizada uma ferramenta de análise de imagem para obter os parâmetros lumínicos.

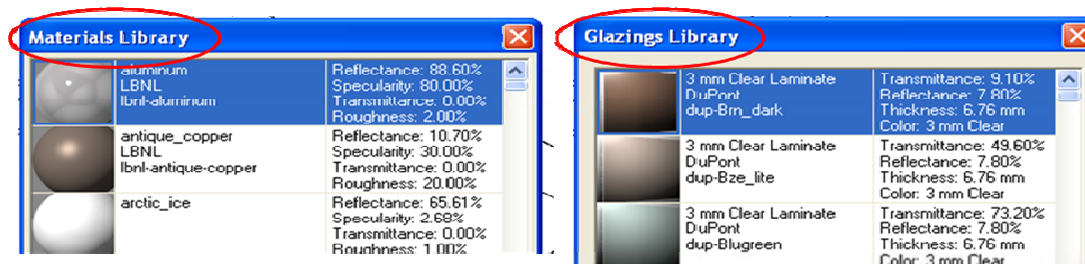


Figura 3.44 – Bibliotecas do Radiance

Os dados de entrada são a geometria do espaço e materiais utilizados (incluindo fotometria de luminárias e características de reflexão das superfícies).

Os dados de saída são:

- Valores da luminância e da illuminância;
- Níveis de conforto visual;
- Isolinhas (zona ou contorno) (Figura 3.43);
- Imagens de qualidade fotográfica e animações vídeo.

As principais vantagens do Radiance são:

- o rigor físico na execução de “renderings”;
- a fiabilidade,
- a possibilidade de analisar geometrias complexas e diversas reflectâncias.

No entanto o Radiance possui poucas interfaces gráficas (por exemplo o Vision3D, programa CAD shareware pode preparar os ficheiros de entrada do Radiance directamente), existe falta de documentação e exemplos e suporta poucos formatos de CAD.

3.4.7 Aiolos

O AIOLOS é um software para o cálculo do fluxo de ar em condições de ventilação natural. Este modelo é baseado nos princípios de rede modular, possibilitando a realização de simulações que podem ser usadas em projecto ou para estudar de modo mais detalhado os mecanismos da ventilação natural.

O AIOLOS está focado no cálculo dos níveis de circulação de ar em edifícios multi-zona, possibilitado:

- o cálculo dos níveis globais de circulação de ar em cada zona simulada;
- o cálculo dos níveis de circulação de ar através de cada uma das aberturas do edifício;
- a realização de uma análise de sensibilidade para o estudo do impacte de um conjunto de factores nas condições de ventilação natural;
- a optimização das características das aberturas (forma, dimensão, localização) para maximizar a circulação de ar, nas diversas configurações em estudo;
- o cálculo de coeficientes de pressão nas superfícies exteriores, usando um modelo paramétrico;
- a avaliação do impacte de diferentes estratégias de ventilação natural no comportamento térmico de um edifício, através de um modelo térmico.

Estes estudos podem ser efectuados para períodos curtos (um dia) ou prolongados (um ano). Como os dados climáticos podem ser tratados estatisticamente, num processador climático interno, é possível ao utilizador uma análise mais rápida das características climáticas preponderantes no local de implantação do edifício.

Os resultados podem ser apresentados em forma de tabela ou de gráficos, podendo também ser realizada a análise estatística dos resultados.

3.4.8 NatVent

O programa NatVent foi desenvolvido como uma ferramenta pré-projecto, que pode ser utilizada na fase inicial do processo de planeamento, antes de serem conhecidas as características dos sistemas de ventilação que serão utilizados nos edifícios. Assim, um conjunto de suposições e simplificações acerca do edifício e dos sistemas de ventilação são efectuadas.

Uma barreira comum à adopção de sistemas de ventilação natural em edifícios urbanos é a potencial exposição a poluentes externos. Os sistemas de ventilação mecânica podem fazer passar o ar por um conjunto de filtros, purificando-o, no entanto, a pressão associada a edifícios ventilados de forma natural é muito baixa, não permitindo esta forma de tratamento.

Assim, as estratégias de ventilação natural incluem a identificação de fontes de contaminação/poluição que envolvem o edifício e a localização das aberturas para ventilação de forma adequada.

O NatVent identifica as fontes de poluição urbanas e indica como as diferentes estratégias de ventilação irão determinar o tipo de controladores de poluição que serão necessários nas entradas de ar.

Uma vez que a dimensão das entradas de ar em relação à qualidade da ventilação (desempenho da ventilação) é também importante, o NatVent possui uma ferramenta de dimensionamento que permite calcular as dimensões adequadas para as aberturas.

3.4.9 Acoubat Sound

Este modelo de previsão Acoubat Sound (podendo ser instalado em Francês ou em Inglês) foi desenvolvido no Centre Scientifique e Technique du Bâtiment (CSTB), em França, e permite efectuar o cálculo do isolamento sonoro, no domínio da frequência entre espaços, quer para ruídos aéreos, quer para ruído de percussão, em conformidade com o disposto na Norma EN 12354:1999 (Parte 1 para sons aéreos e parte 2 para sons de percussão), relativa ao cálculo do desempenho acústico dos edifícios com base no desempenho acústico dos elementos de construção, sendo esta a única metodologia compatível com as actuais exigências regulamentares (que estabelece critérios de desempenho acústico dos edifícios e não dos elementos construtivos).

O Acoubat Sound permite responder aos requisitos do Regulamento Geral do Ruído (DL 292/2000), modelar e calcular as situações reais de transmissão sonora em edifícios, quer para ruídos de condução aérea quer para ruídos de percussão, em conformidade com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE, 2008) e com os parâmetros definidos nas Normas EN ISO 140 e 717.

A previsão de comportamento a sons aéreos efectua-se integrando a propagação sonora que ocorre pelas várias vias de transmissão existentes entre os dois compartimentos adjacentes, respectivamente:

- um caminho considerado directo, ou seja através do elemento de separação;
- os caminhos indirectos tais como os devidos às aberturas de ventilação, janelas exteriores e portas exteriores ou interiores; e
- os caminhos considerados laterais relacionados com a propagação da energia sonora através das várias junções existentes.

Na Figura 3.45 ilustram-se os vários tipos de caminhos da propagação da energia sonora, correspondente a sons aéreos, entre dois espaços.

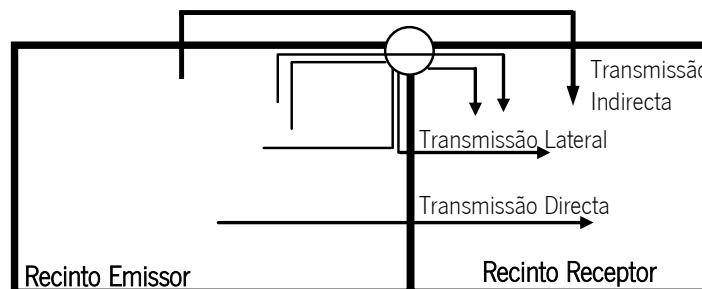


Figura 3.45 - Diferentes caminhos de propagação da energia sonora entre dois espaços adjacentes (Adaptado de Patrício, 2003)

O índice de isolamento sonoro $D_{nT, w}$ e $D_{2m,nT, w}$ correspondente às descrições obtidas no domínio da frequência, é determinado com base na Norma EN ISO 717-1.

Este modelo contabiliza a influência da transmissão marginal, aquando da estimação do desempenho acústico de um edifício, recorrendo à quantificação dos valores dos factores de amortecimento de

vibrações, geradas no processo de transmissão de energia sonora entre os compartimentos em análise, para os vários tipos de junções que definem a malha de compartimentação.

A previsão de comportamento a sons de percussão efectua-se com base na propagação sonora que ocorre pelo caminho de transmissão considerado directo, ou seja através do elemento de compartimentação propriamente dito, e pelos caminhos considerados laterais respeitantes à propagação através das várias junções que definem a malha estrutural.

Na Figura 3.46 ilustram-se os vários tipos de encaminhamento da propagação da energia sonora entre espaços.

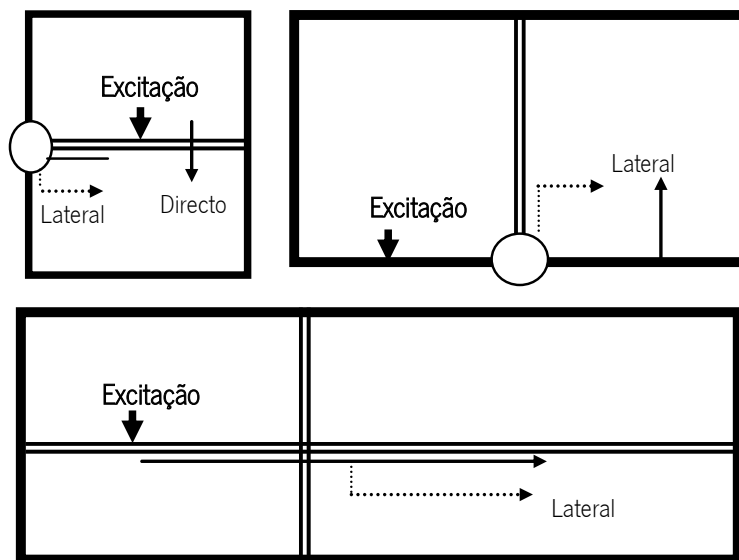


Figura 3.46 - Diferentes caminhos de propagação de ruído de impacte entre espaços (Adaptado de Patrício, 2003)

O índice de isolamento sonoro $L'_{nt,w}$ correspondente às descrições obtidas no domínio da frequência, é determinado com base na Norma EN ISO 717-2.

Para a realização do cálculo de estimativa do comportamento acústico (sons aéreos e de percussão), o modelo recorre a uma base de dados, integrada no mesmo, onde constam as características de comportamento acústico de várias soluções de compartimentação. Estas características foram determinadas com base em ensaios realizados em laboratório, como o exemplo apresentado na Figura 3.47 (CSTB).

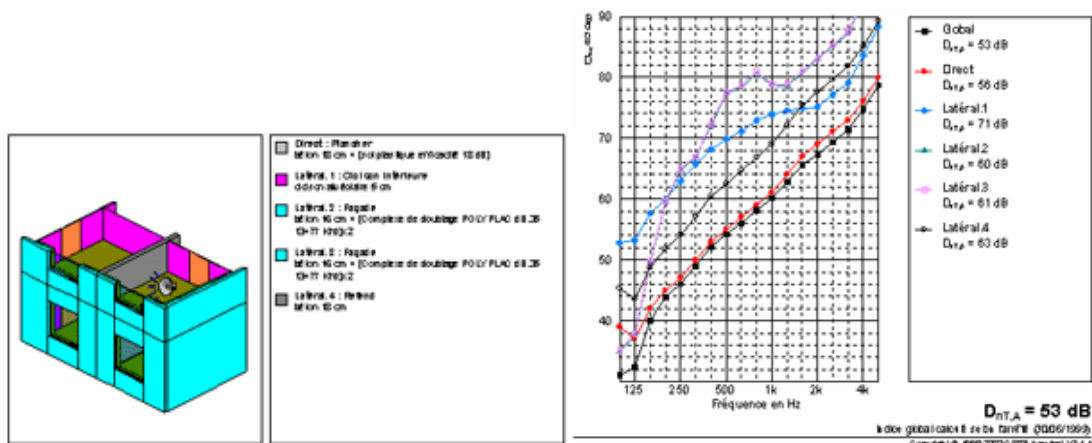


Figura 3.47 - Ficheiro com os dados da geometria e isolamento sonoro do Acoubat Sound

O Acoubat Sound permite a avaliação do impacto do som em edifícios. Possui uma base de dados de produtos que permite, de forma simples, escolher a melhor solução, em termos acústicos, para edifícios multifamiliares, escritórios, salas de aulas, enfermarias, etc.. Permite também ouvir o ruído existente num determinado local do edifício, qualquer que seja a fonte, a sua natureza ou nível, estando disponíveis 32 tipos de fontes de ruído.

Na versão, em português, 3.1 do Acoubat Sound inclui a Base de Dados v1.0 onde existem 90 novas soluções e 22 soluções na categoria de alvenaria tradicional, especialmente adaptada aos estilos de construção mais comuns em Portugal.

A estrutura da base de dados possibilita a inclusão novos produtos e soluções construtivas.

O Acoubat Sound leva em linha de conta a transmissão através de partições compostas, incluindo transmissões marginais pelas paredes laterais, bem como equipamentos como grelhas de ventilação.

Uma interface com o utilizador simples de usar, o Acoubat Sound permite a não especialistas efectuar estudos de concepção acústica simples, como os destinados a projectos de licenciamento de moradias ou prédios de habitação correntes e aos especialistas, graças a ferramentas de análise por caminho de transmissão e por bandas de frequência, otimizar as soluções.

3.4.10 dBMat

A base de dados dBMat - Base de Datos Comportamiento Acústico de Materiales - com o registo das características acústicas de diversos materiais/soluções construtivas, desenvolvido pelo Laboratório de Control de Calidad de la Edificació - LABEIN - Centro Tecnológico - do País Basco, permite ampliar a base de dados do Acoubat Sound.

A base de dados dBMat possui a caracterização do desempenho acústico de diversas soluções construtivas, envidraçados, paredes simples e duplas de alvenaria, parede leves, pavimentos, sendo apresentada a descrição e o esquema da solução construtiva, a sua densidade, a atenuação sonora em bandas de frequência de 1/3 de oitava (Figura 3.48).

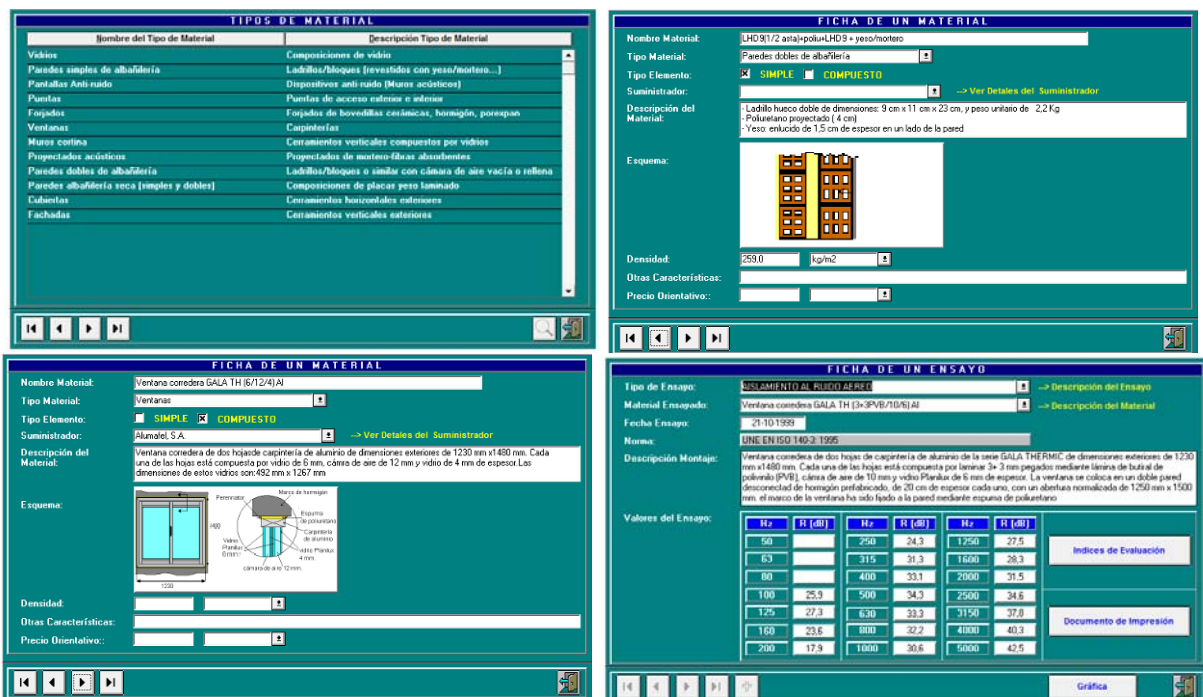


Figura 3.48 - Base de dados do desempenho acústico de soluções construtivas - dBMat

3.5 Soluções Construtivas Estudadas

Foram seleccionadas diversas soluções construtivas, convencionais e novas tecnologias, níveis de isolamento, tipos de materiais de isolamento e sua localização.

Não se consideram situações de elementos exteriores (paredes, coberturas ou pavimentos) sem isolamento térmico, uma vez que se pretende garantir a qualidade das construções. O mesmo acontece em relação aos elementos de separação entre habitações ou entre habitações e espaços comuns de circulação, em que se adoptam soluções que verifiquem as exigências de isolamento térmico e acústico.

A avaliação da influência da tipologia dos elementos construtivos no comportamento térmico dos edifícios foi realizada tendo em consideração: a influência do tipo e espessura do material de isolamento aplicado, a influência da localização da camada de isolamento e a influência da solução construtiva utilizada.

Para estudar a influência do isolamento no comportamento térmico dos edifícios, consideraram-se os materiais isolantes correntemente usados na construção civil, como sejam a lã mineral em mantas e em placas, com uma densidade superior a 70 kg/m^3 , o poliestireno expandido em placas, o poliestireno expandido extrudido em placas e a espuma de poliuretano projectada e em placas, o aglomerado negro de cortiça, a fibra de coco, que é um “novo” material, não sendo ainda muito utilizado.

Para definir os vários níveis de isolamento foram considerados, para cada um dos materiais analisados, camadas com espessuras de 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm e 100 mm, de forma a cobrir as situações correntes (as duas primeiras espessuras) e também as menos utilizadas (as últimas espessuras).

3.5.1 Paredes

As várias posições do material de isolamento em paredes consideradas foram: pelo interior e pelo exterior das paredes simples e pelo exterior ou na caixa-de-ar das paredes duplas. Para paredes duplas com isolamento na caixa-de-ar foram analisadas duas situações: o isolamento preenchendo totalmente a caixa-de-ar ou preenchendo-a apenas parcialmente, tal como representado na Figura 3.49.

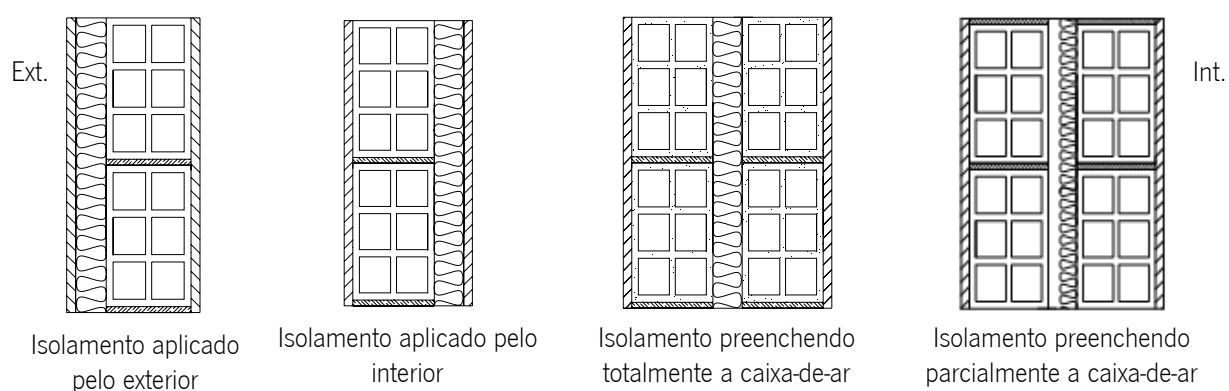


Figura 3.49 - Localização do material de isolamento em paredes

O primeiro tipo de paredes a considerar são as paredes exteriores, que podem ser simples, duplas ou triplas.

Nas paredes simples existem duas possibilidades de colocação do material de isolamento: pelo interior e pelo exterior. Em função da sua localização o tipo de materiais varia, uma vez que determinado tipo de materiais, como por exemplo a lã de rocha, não podem ser aplicados pelo exterior. Em relação à espessura do material de isolamento, este deveria ser superior ou igual a 40 mm.

As paredes simples com isolamento pelo exterior são constituídas por, do exterior para o interior, como mostra a Figura 3.50:

- reboco exterior;
- material de isolamento em placas (poliestireno expandido, poliestireno expandido extrudido, espuma rígida de poliuretano em placas) ou espuma de poliuretano projectado, com espessuras variadas (20, 40, 60, 80, 100 mm);
- elemento de suporte em pedra, adobe, betão armado, tijolo furado, tijolo maciço, blocos de betão, com espessuras variadas;
- reboco interior ou estuque.

As paredes simples com isolamento pelo interior são constituídas por, do exterior para o interior, como representado na Figura 3.50:

- reboco exterior;
- elemento de suporte em pedra, betão armado, tijolo furado, tijolo maciço, blocos de betão, com espessuras variadas;
- material de isolamento, em placas ou em mantas (poliestireno expandido, poliestireno expandido extrudido, espuma rígida de poliuretano, lã mineral, aglomerado negro de cortiça, fibra de coco) ou espuma de poliuretano projectado, com espessuras variadas (20, 40, 60, 80, 100 mm);
- reboco interior ou estuque.

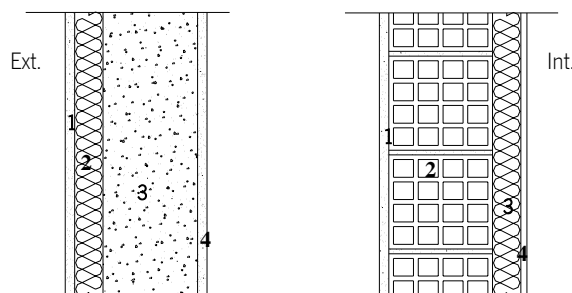


Figura 3.50 - Exemplos tipo de paredes simples, com isolamento pelo exterior e pelo interior

Na Tabela 3.28 apresentam-se diversas opções para paredes simples, com isolamento aplicado pelo exterior e pelo interior.

Nas paredes duplas existem três possibilidades de colocação do material de isolamento: pelo interior; pelo exterior (soluções não correntes), ou no interior da caixa-de-ar, podendo preenchê-la total ou parcialmente. Tal como no caso das paredes simples, em função da sua localização o tipo de materiais de isolamento varia, uma vez que determinado tipo de materiais, como por exemplo a lã de rocha, não podem ser aplicados pelo exterior. Além disso, quando os materiais são aplicados na caixa-de-ar e não são resistentes à humidade é necessário introduzir uma barreira pára-vapor entre o material de isolamento e a zona fria da parede, de modo a protegê-lo da humidade (em estado líquido ou em vapor).

Em paredes duplas é necessário muito cuidado com a execução da parede e com a colocação do material de isolamento, em especial se este for aplicado em mantas, sendo necessário cuidado com a aplicação da barreira pára-vapor. Deve ser garantida a continuidade do material de isolamento e que este fique colocado verticalmente.

Tabela 3.28 - Paredes simples (com isolamento pelo exterior e pelo interior) - material e sua localização (segundo a numeração apresentada na Figura 3.50)

Material	Localização (1 - exterior, ..., 4 - interior)	Espessura [mm]
Isolamento		
Poliestireno expandido extrudido em placas	2 ou 3	20, 40, 60, 80, 100
Poliestireno expandido em placas	2 ou 3	20, 40, 60, 80, 100
Espuma rígida de poliuretano em placas	2 ou 3	20, 40, 60, 80, 100
Espuma de poliuretano projectada	2 ou 3	20, 40, 60, 80, 100
Lã mineral em placas ou em mantas	3	20, 40, 60, 80, 100
Aglomerado negro de cortiça em placas	3	20, 40, 60, 80, 100
Fibra de coco em mantas	3	20, 40, 60, 80, 100
Suporte		
Betão Armado	1, 3 ou 2	150, 200
Alvenaria de Pedra	1, 3 ou 2	150, 200
Alvenaria de Adobe (edifícios de pequeno porte)	3	150, 200
Alvenaria de Tijolo maciço	3 ou 2	230
Alvenaria de Tijolo furado/perfurado	3 ou 2	110, 150, 220
Alvenaria de blocos de betão	3 ou 2	150, 200
Alvenaria de Blocos de tijolo térmico	3 ou 2	200
Revestimento		
Reboco	1 ou 4	20
Estuque projectado	4	20

Em caixas-de-ar preenchidas de forma parcial é necessária especial atenção à correcta execução, em especial do sistema de drenagem da caixa-de-ar, e à sua não obstrução com materiais que permitam o contacto entre os dois panos de parede, como por exemplo a argamassa de assentamento dos tijolos da parede.

Nas paredes duplas os panos podem ser ambos pesados, ou um deles pode ser leve, como é o caso de paredes duplas com o pano interior em gesso cartonado, o com o pano exterior em placas de pedra, como os exemplos apresentados na Figura 3.51.

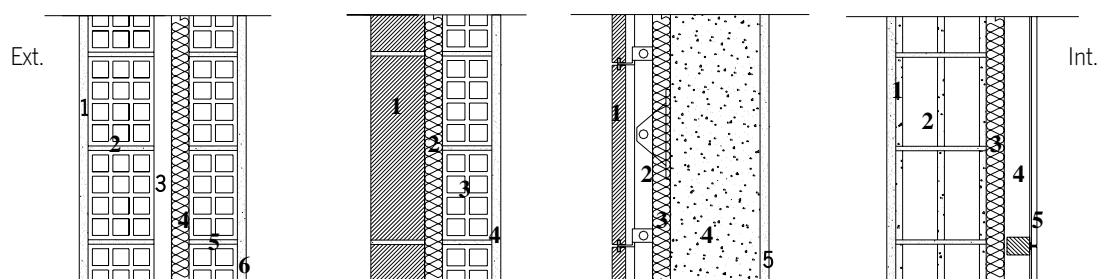


Figura 3.51 - Exemplos tipo de paredes duplas, com isolamento na caixa-de-ar

As paredes duplas com isolamento pelo exterior são constituídas por, do exterior para o interior, como mostra a Tabela 3.29:

- reboco exterior;

- material de isolamento em placas (poliestireno expandido, poliestireno expandido extrudido, espuma rígida de poliuretano em placas) ou espuma de poliuretano projectado, com espessuras variadas (20, 40, 60, 80, 100 mm);
- pano exterior do elemento de suporte (pedra, adobe, betão armado, tijolo furado, tijolo maciço, blocos de betão), com espessuras variadas;
- caixa-de-ar;
- pano interior do elemento de suporte (betão armado, tijolo furado, tijolo maciço, blocos de betão, bloco térmico), com espessuras variadas;
- reboco interior ou estuque.

Tabela 3.29 - Paredes duplas (com isolamento pelo exterior, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar ou pelo interior) - material e sua localização, (segundo a numeração apresentada na Figura 3.51)

Material		Localização (1 - exterior, ..., 6 - interior)	Espessura [mm]
Suporte pano exterior e/ou pano interior			
Betão Armado		1, 2 ou 5	150, 200
Alvenaria de Pedra		1, 2, ou 5	150, 200
Placagem de pedra		1	15
Alvenaria de Adobe (edifícios de pequeno porte)		2	150, 200
Alvenaria de Tijolo maciço		1	230
Alvenaria de Tijolo furado/perfurado		2, 5	110, 150, 220
Blocos de Betão		2, 5	200
Alvenaria de Blocos de tijolo térmico		2, 5	200
Placas de gesso cartonado		6	13
Placas de aglomerado de madeira e cimento		1, 6	12, 19
Caixa-de-ar	Lâmina de ar	2, 3 ou 4	20, 40, 60, 80, 100
	Isolamento		
	Poliestireno expandido extrudido, em placas	2, 3, 4, ou 5	20, 40, 60, 80, 100
	Poliestireno expandido, em placas	2, 3, 4, ou 5	20, 40, 60, 80, 100
	Espuma rígida de poliuretano, em placas	2, 3, 4, ou 5	20, 40, 60, 80, 100
	Espuma de poliuretano projectada	2, 3, 4, ou 5	20, 40, 60, 80, 100
	Lã mineral, em placas ou em mantas	2, 3, 4, ou 5	20, 40, 60, 80, 100
	Aglomerado negro de cortiça, em placas	2, 3, 4, ou 5	20, 40, 60, 80, 100
	Fibra de coco em mantas	2, 3, 4, ou 5	20, 40, 60, 80, 100
Revestimento			
Reboco		1 ou 6	20
Estuque projectado		6	20

As paredes duplas com isolamento na caixa-de-ar são constituídas por, do exterior para o interior, como mostra a Figura 3.51 e a Tabela 3.29:

- reboco exterior;
- pano exterior do elemento de suporte (pedra, betão armado, tijolo furado, tijolo maciço, blocos de betão), com espessuras variadas;

- caixa-de-ar:
 - i) lâmina de ar;
 - ii) material de isolamento, em placas ou em mantas (poliestireno expandido, poliestireno expandido extrudido, espuma rígida de poliuretano, lã mineral, aglomerado negro de cortiça, fibra de coco) ou espuma de poliuretano projectado, com espessuras variadas (20, 40, 60, 80, 100 mm);
- pano interior do elemento de suporte (betão armado, tijolo furado, tijolo maciço, blocos de betão, bloco térmico), com espessuras variadas;
- reboco interior ou estuque.

As paredes duplas com isolamento pelo interior são constituídas por, do exterior para o interior, como mostra a Tabela 3.29:

- reboco exterior;
- pano exterior do elemento de suporte (pedra, adobe, betão armado, tijolo furado, tijolo maciço, blocos de betão), com espessuras variadas;
- caixa-de-ar;
- pano interior do elemento de suporte (pedra, adobe, betão armado, tijolo furado, tijolo maciço, blocos de betão), com espessuras variadas;
- material de isolamento, em placas ou em mantas (poliestireno expandido, poliestireno expandido extrudido, espuma rígida de poliuretano, lã mineral, aglomerado negro de cortiça, fibra de coco) ou espuma de poliuretano projectado, com espessuras variadas (20, 40, 60, 80, 100 mm);
- reboco interior ou estuque.

As tipologias construtivas das paredes de separação entre habitações ou entre habitações e zonas comuns de circulação são idênticas às acima descritas para as paredes exteriores. No entanto não é corrente a utilização de pedra (alvenaria ou placas), adobe (edifícios de pequeno porte) ou tijolo maciço em elementos da envolvente interior. As soluções correntes são as paredes, simples ou duplas de alvenaria de tijolo furado ou de blocos de betão, betão armado (caixas de elevador) e placas de gesso cartonado.

A solução mais corrente é a parede dupla de alvenaria de tijolo furado com panos de 11 cm e 15 cm, sendo utilizada para elementos exteriores, de separação entre habitações e separando habitações e zona comuns de circulação.

Em paredes exteriores o mais corrente é a utilização de poliestireno expandido extrudido em placas de nas paredes interiores lã mineral, em placas ou em mantas de densidade superior ou igual a 70 kg/m³.

As paredes divisórias podem ser idênticas às paredes de separação entre habitações ou entre habitações e zonas comuns de circulação, no entanto as soluções correntes são de dois tipos, representados na Figura 3.52:

- paredes simples de alvenaria de tijolo de 7, 11, 15 ou 22 cm (de preferência 15 ou 22 cm) e paredes simples de alvenaria de blocos de betão de 20 cm;
- paredes duplas, leves, em placas de gesso cartonado, com 1,3 cm, e lã mineral (2, 4, 6, 8, 10 cm).

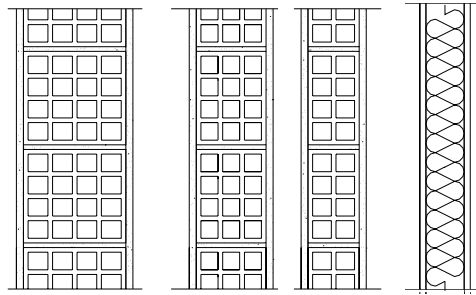


Figura 3.52 - Paredes divisórias tipo

3.5.2 Coberturas e Pavimentos

As tipologias convencionais para coberturas e pavimentos assentam em elementos resistentes de quatro tipos, lajes aligeiradas com abobadilhas cerâmicas ou de betão, lajes alveolares, lajes maciças em betão armado (sem cofragem ou com cofragem metálica perdida) e lajes fungiformes (em situações de maior exigência, em especial em edifícios de comércio e serviços).

Em situações de reabilitação ou ampliação de edifícios são também utilizadas soluções aligeiradas com estrutura metálica ou em madeira e revestimento em placas de madeira e/ou gesso cartonado, com isolamento térmico e/ou acústico.

Os pavimentos podem ter ou não tecto falso, de modo a melhorar o seu comportamento acústico.

No caso de cobertura estas podem ser de dois tipos:

- as coberturas horizontais em terraço e dentro deste tipo se o isolamento é suporte de impermeabilização ou se é uma cobertura tipo “invertida”;
- as coberturas inclinadas com isolamento na laje de esteira horizontal ou com isolamento nas vertentes.

A avaliação da influência das coberturas no comportamento térmico dos edifícios foi realizada por fases: em primeiro lugar estudou-se a influência do tipo e da espessura do material de isolamento, de seguida analisou-se a influência da solução construtiva da cobertura e por último avaliou-se a influência do tipo de elemento resistente usado.

Os materiais de isolamento e as espessuras estudadas foram os mesmos que no caso das paredes.

Na Figura 3.53 apresentam-se de forma esquemática os vários tipos de coberturas analisados neste estudo.

Para cada um destes tipos de cobertura consideraram-se os seguintes elementos resistentes:

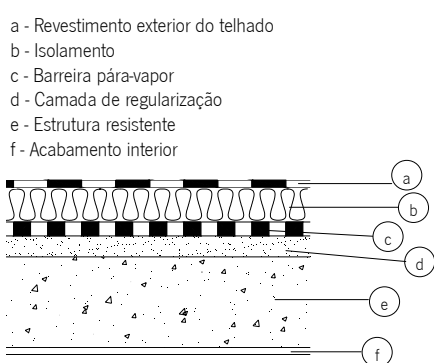
- Estrutura resistente em laje maciça em betão armado (sem cofragem ou com cofragem metálica perdida);
- Estrutura resistente em laje alveolar;
- Estrutura resistente em laje fungiforme;
- Estrutura resistente em laje aligeirada de blocos;
- Estrutura resistente em laje aligeirada de blocos de betão;
- Estrutura resistente em laje aligeirada de blocos de betão.

Outro factor que afecta o desempenho dos edifícios é o tratamento térmico e acústico dos pavimentos.

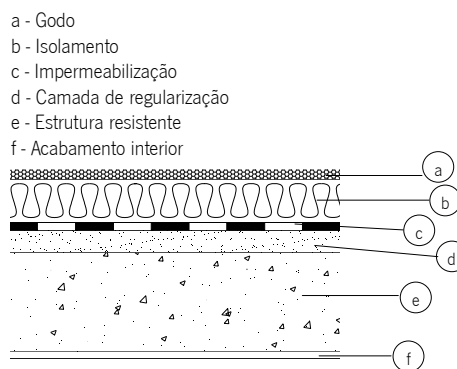
A avaliação da influência dos pavimentos no comportamento dos edifícios foi realizada tendo em consideração a influência do tipo de material de isolamento, da espessura do material de isolamento e a influência da solução construtiva utilizada.

Os tipos de pavimentos analisados dividem-se em três grupos (não se consideram situações, quer para elementos interiores, quer para elementos exteriores sem isolamento):

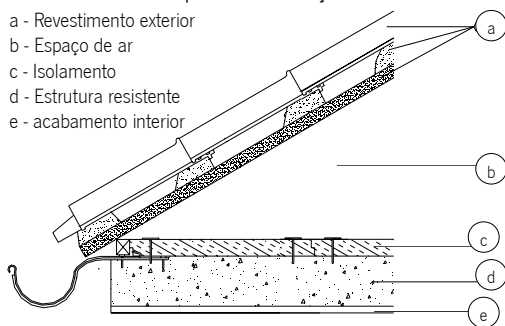
- pavimentos sem isolamento (apenas em elementos de separação entre habitações ou duas zonas da mesma habitação);
- pavimentos com isolamento colocado sob o lajeta flutuante (elemento resiliente);
- pavimentos com isolamento fixado directamente à face inferior do elemento de suporte;
- pavimentos com o isolamento colocado na caixa-de-ar do tecto falso.



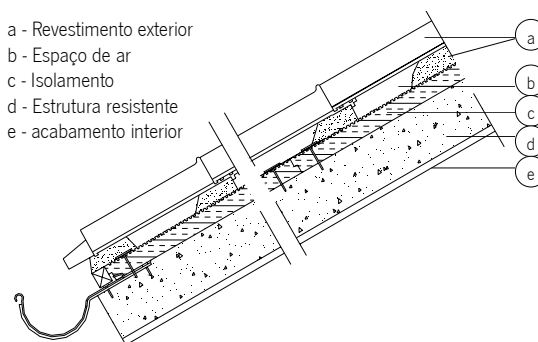
Cobertura horizontal com isolante suporte de impermeabilização



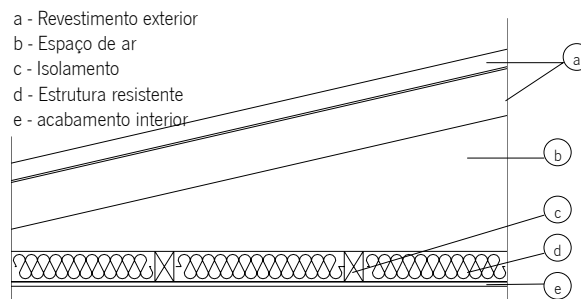
Cobertura horizontal tipo "cobertura invertida"



Cobertura inclinada com isolamento na laje de esteira



Cobertura inclinada com isolamento nas vertentes



Cobertura inclinada leve com isolamento na esteira

Figura 3.53 - Representação esquemática das coberturas

Para os elementos horizontais foram também estudados vários tipos de elemento resistente:

- laje maciça;
- laje aligeirada de blocos de betão;
- laje aligeirada de blocos cerâmicos;
- laje alveolar;
- laje fungiforme;
- laje aligeirada com estrutura metálica ou em madeira e placas de madeira e/ou gesso cartonado (situações de reabilitação ou ampliação de edifícios).

Os materiais de isolamento e respectivas espessuras são os mesmos que foram já descritos para as paredes e para as coberturas exteriores.

Os pavimentos correntes no Norte de Portugal são as lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas, no Centro e Sul do país o comum é a utilização de lajes maciças em betão armado.

Na Figura 3.54 apresentam-se de forma esquemática os vários tipos de pavimentos analisados neste estudo.

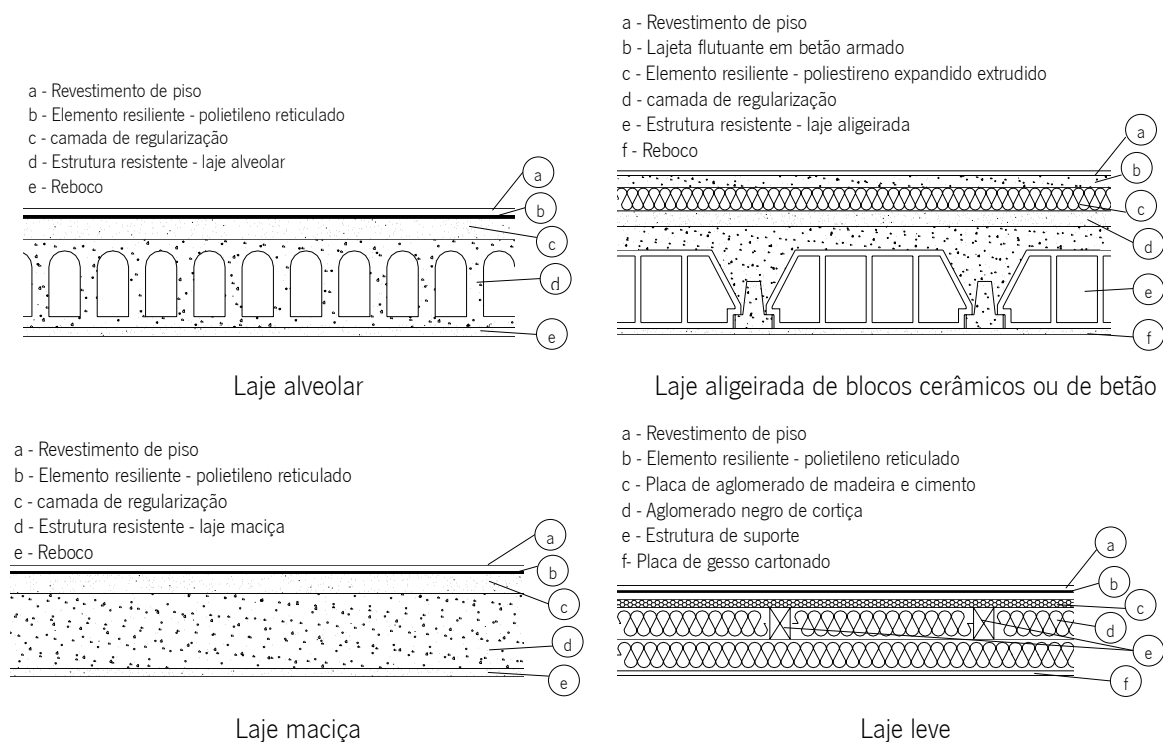


Figura 3.54 - Exemplos de pavimentos em função do tipo de elemento resistente

Além da consideração da solução construtiva para o elemento de suporte é necessário considerar a existência de uma camada de compressão de 5 cm de espessura de betão normal e de uma camada de regularização de 5 cm em betão normal ou de betão leve, composto com poliestireno expandido ou granulado de cortiça, por exemplo.

Sobre a camada de regularização deve ser colocada uma camada de material resiliente, por exemplo de 2 mm, composta por borracha e aglomerado de cortiça, por 5 mm de tela de poliuretano ou por poliestireno expandido extrudido com 5 cm.

Podendo sobre ela ser aplicado o revestimento de piso ou uma lajeta de betão armado com rede electrossoldada com 4 cm de espessura mínima - lajeta flutuante.

Os revestimentos de piso devem ser entendidos como um sistema de complemento ao elemento de suporte de cargas, contribuindo de forma significativa para a atenuação da transmissão de sons de impacte.

Podem considerar-se dois sistemas atenuadores principais: os constituídos pela aplicação de revestimentos de piso resilientes e os de piso flutuante.

No primeiro caso a redução deriva do aumento do tempo de impacte da acção de percussão introduzida, quando estes revestimentos se encontram aplicados.

Este aumento do tempo de impacto encontra-se relacionado com as características elásticas do revestimento de piso considerado e irá “estretar” o espectro da excitação introduzida na laje de suporte de cargas originando, por um lado, a introdução de mais componentes de baixa frequência e alterando, por outro, a amplitude de força associada a cada componente que integra o espectro em questão. Este aumento do tempo de impacto está relacionado com as características elásticas do revestimento de piso considerado.

Para efeitos de quantificação do comportamento acústico de elementos de compartimentação horizontal que integrem a laje de suporte de cargas e o sistema de revestimento complementar (resiliente ou flutuante), determina-se primeiramente o índice de isolamento sonoro dessa laje, subtraindo-se de seguida o valor da atenuação sonora proporcionada pelo sistema complementar.

Revestimentos resilientes:

- Aglomerado composto de cortiça;
- Alcatifa
- Revestimento resiliente composto:
 - Aglomerado composto de cortiça + MDF + Aglomerado composto de cortiça
 - Aglomerado composto de cortiça + MDF + Rubber Cork
 - Folha de madeira + MDF + Aglomerado composto de cortiça
 - Folha de madeira + MDF + Rubber Cork
- Revestimento rígido composto:
 - Ladrilhos cerâmicos + Aglomerado composto de cortiça
 - Placas de mármore + Aglomerado composto de cortiça

No domínio dos sistemas flutuantes podem definir-se dois grandes grupos de soluções de melhoramento do isolamento a sons de percussão:

- um primeiro grupo, em grande desenvolvimento actual, onde se enquadram as soluções constituídas por um revestimento de piso final relativamente rígido (por exemplo, pranchas de madeira ou ladrilhos cerâmicos) dispostos aderentemente (ou não) sobre elementos de elevada resiliência (por exemplo cortiça ou espuma de polietileno extrudido); e
- um segundo grupo onde se incluem os revestimentos considerados intrinsecamente flutuantes, constituídos por um sistema de elevada rigidez (normalmente, lajeta de betão com 4 a 5 cm de

espessura, armada com malha electrossoldada), sobre a qual assenta o revestimento de piso final, lajeta esta sobreposta a um material suficientemente resiliente que se interpõe entre a lajeta e a laje de suporte de cargas.

O revestimento de piso poderá variar dependendo da função do compartimento. Assim, como revestimento de piso consideram-se as seguintes alternativas:

- 1ª Alternativa - Soalho tradicional madeira;
- 2ª Alternativa - Soalho de madeira;
- 3ª Alternativa - Revestimento cerâmico ou pétreo;
- 4ª Alternativa - Revestimentos resilientes.

O 1º tipo de revestimento é o soalho tradicional em madeira aplicado sobre o elemento resiliente, para tal, sobre este devem ser colocadas guias com 2.5 cm de altura de betão normal espaçadas de 40cm, estando sobre estas colocados “sarrafos” (barrotes em madeira) com 2cm de altura. Entre os barrotes deve ser colocada lã de rocha com 40 kg/m³ de densidade mínima, preenchendo o espaço vazio entre a camada de regularização e o soalho tradicional em madeira maciça com 19 cm de espessura (acabado).

A aplicação das ripas sobre a tela não pode ser realizada com a perfuração da tela de borracha. Devendo ter sido deixados 1 a 2cm de tela para cada lado da ripa de modo a não permitir contacto entre a zona de sustentação da ripa e o pavimento. Os espaços vazios do soalho devem estar totalmente preenchidos com lã de rocha de massa volúmica mínima de 50 kg/m³.

O 2º tipo é um soalho de madeira aplicado sobre a camada resiliente, em geral designado por revestimento flutuante.

A 3ª alternativa para revestimento de piso poderá ser um material cerâmico ou pétreo, também aplicado sobre o material resiliente.

A última alternativa é a aplicação de revestimentos resilientes.

Na face inferior da laje pode ser aplicado um revestimento em reboco com 1,5 cm em gesso ou argamassa. Uma outra possibilidade é a existência de um tecto falso, para um melhor comportamento acústico, por exemplo para elementos de separação entre uma habitação e uma zona comercial, na face inferior da laje com pelo menos 15cm com placas de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura.

No tecto falso devem ser colocadas duas mantas de lã mineral, com 4 cm de espessura cada, no mínimo, e 70 kg/m³ de densidade mínima, uma colada à parte inferior da laje e outra colocada na face inferior do tecto falso, sobre as placas de gesso cartonado.

Para melhorar o isolamento sonoro a sons de percussão as placas de gesso cartonado do tecto falso poderão ser sustentadas por suspensores acústicos. Estes exemplos encontram-se representados na Figura 3.55.

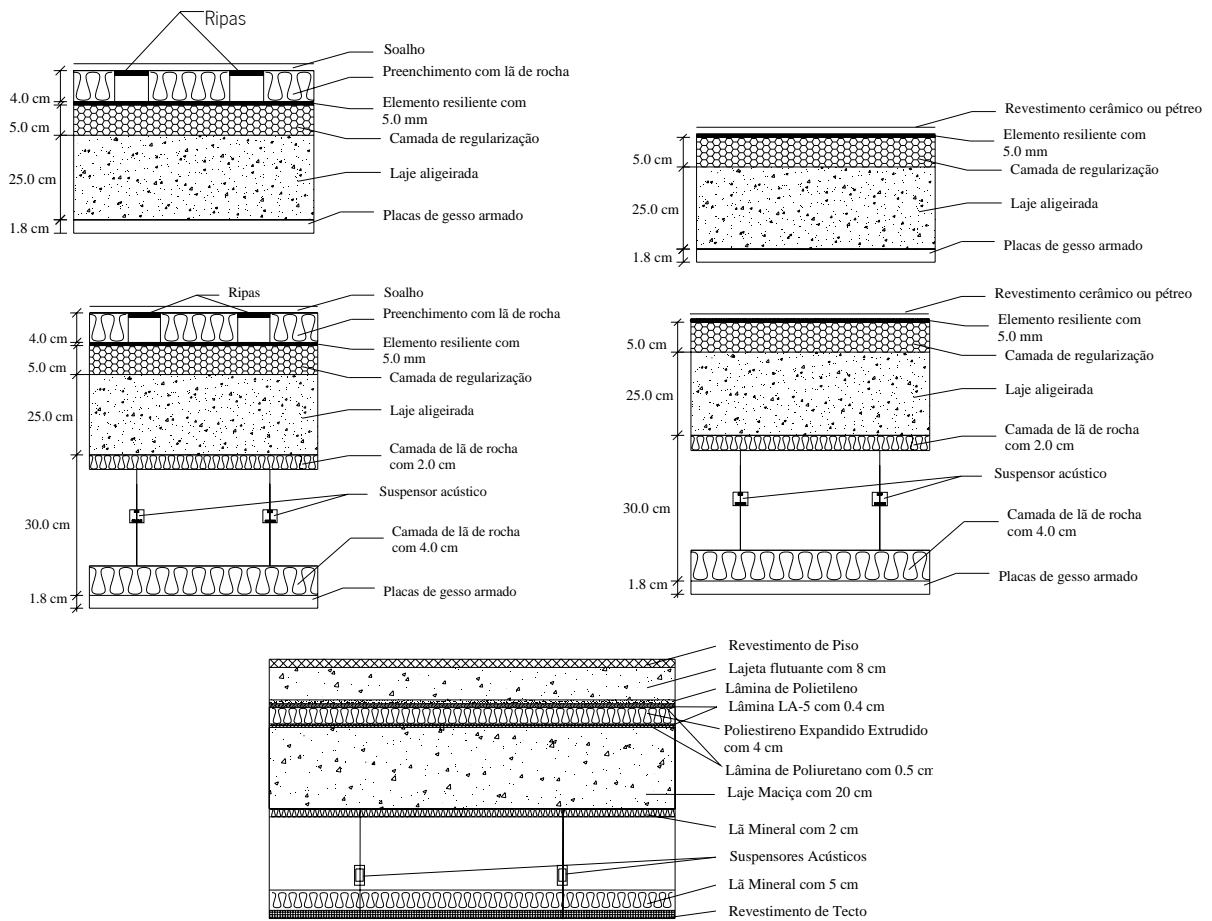


Figura 3.55 - Exemplos de pavimentos em função do tipo de solução construtiva e de revestimento de piso

Os panos de alvenaria não devem assentar directamente sobre a laje, mas sim sobre suportes elásticos, por exemplo, borracha com 3 cm de espessura, de modo a impedir a transmissão de vibrações para os elementos estruturais, melhorando assim o comportamento acústico do edifício.

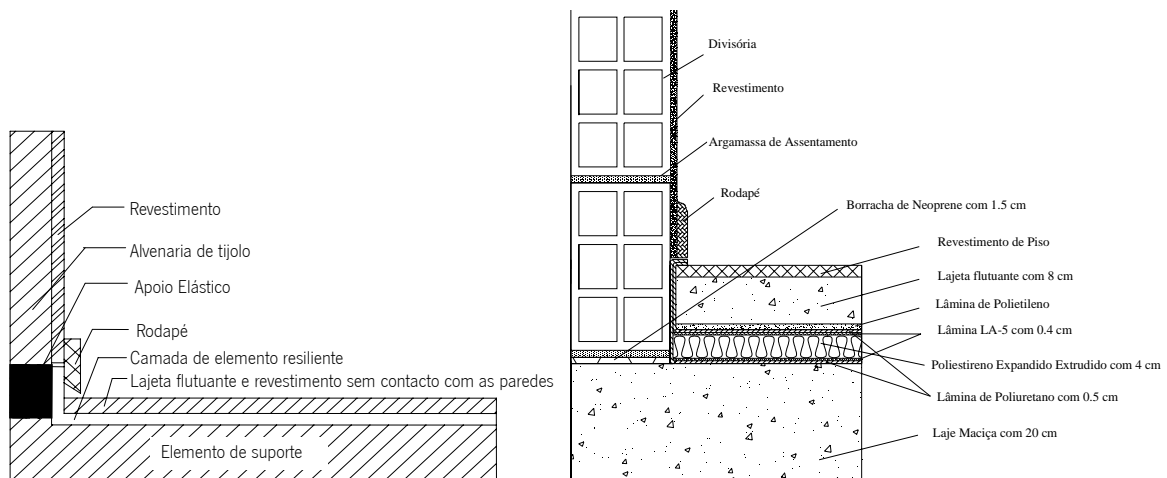


Figura 3.56 - Pormenor de ligação do rodapé

3.5.3 Envidraçados e Dispositivos de Oclusão e/ou Sombreamento

Os envidraçados são um factor determinante na eficiência de um edifício. Se por um lado, os envidraçados são, em geral o ponto mais sensível da envolvente, por permitirem grandes perdas de energia, é também através deles que os ganhos energéticos são conseguidos, quando localizados de forma adequada (orientados no quadrante Sul), permitindo a qualidade da iluminação natural dos espaços, melhorando a qualidade do ar interior, através das melhores condições de ventilação (aberturas em fachadas opostas, por exemplo), mas reduzindo o isolamento acústico.

Neste estudo foram considerados vários tipos de envidraçados, tendo em conta o tipo de caixilharia, o tipo de material da caixilharia, o tipo de caixilho (simples ou duplo e com ou sem corte térmico), o tipo de vidro (simples, duplo ou triplo) e também o tipo de dispositivo de oclusão nocturna e/ou sombreamento.

Os tipos de envidraçados estudados foram os vidros simples, vidros duplos e triplos, tal como representado na Figura 3.57, colocados em caixilhos simples ou duplos, podendo estes ser:

- caixilho metálico com ou sem corte térmico;
- caixilho de madeira;
- caixilho em plástico.

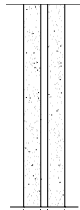


Figura 3.57 - Exemplo de tipos de envidraçados

Para cada um dos tipos de vidro e de caixilho considerou-se a existência de um dispositivo de oclusão nocturna com boa e com má estanquidade.

Foi também avaliada a influência dos dispositivos de sombreamento:

- fixos:
 - palas.
- móveis, colocados pelo interior ou pelo exterior do envidraçado:
 - portadas, que podem ser metálicas, plásticas ou de madeira;
 - estores de lona (opacos e pouco ou muito transparentes);
 - estores venezianos (de madeira ou metálicos);
 - persianas (de madeira, metálicas ou plásticas).

Os tipos de elementos sombreadores podem também ser divididos em:

1 - Protecções exteriores

- palas;
- estores de lona (opaco, pouco ou muito transparente);
- estores venezianos de madeira ou metálicos;
- portadas de madeira;
- persianas de madeira, metálicas ou plásticas;

2 - Protecções interiores

- estores de lâminas;
- cortinas (opacas, ligeiramente ou muito transparentes);
- portadas de madeira; e
- persianas de madeira.

Os dispositivos de sombreamento exteriores podem ser de dois tipos, fixos (palas, “louvers”, etc.) ou móveis (toldos, estores de lâminas, etc.).

Em Portugal o comum é a utilização de caixilharia simples e vidros duplos, em geral de alumínio e como dispositivos de oclusão e/ou sombreamento estores de lâminas horizontais e persianas, colocados pelo interior ou pelo exterior dos envidraçados, estores venezianos exteriores e portadas interiores, além da utilização de cortinas interiores. A utilização de toldos de lona, não é tão comum, mas é corrente.

A utilização de caixilharias duplas, com estores, entre elas, surge com alguma incidência como solução de reforço acústico em edifícios localizados em zonas ruidosas, como por exemplo em edifícios junto à VCI na cidade do Porto.

A influência dos envidraçados no desempenho energético dos edifícios depende do tipo de vidro (simples ou duplo), do tipo de caixilho (de madeira de metal ou de plástico) e do tipo de dispositivo de oclusão nocturno utilizado (de boa ou má estanquidade).

A importância dos envidraçados, no Inverno, é devida, por um lado à necessidade de reduzir as perdas de calor através dele, necessitando-se, por isso, de envidraçados com um coeficiente de transmissão térmica baixo, de dispositivos de oclusão com boa estanquidade (e utilizados de forma adequada) e, à necessidade da existência de envidraçados, no quadrante Sul, não sombreados e com um factor solar elevado de modo a permitirem ganhos solares suficientes.

As necessidades térmicas de arrefecimento (situação de Verão) dependem muito do tipo de sombreador utilizado, da sua cor e especialmente da sua localização (se aplicado pelo interior, se aplicado pelo exterior dos envidraçados ou eventualmente entre caixilharias duplas ou de vidros duplos). De Verão pretende-se que os envidraçados possuam um factor solar reduzido de modo a evitarem-se, em todas as orientações, ganhos solares perniciosos.

Por uma questão de economia, devem aproveitar-se os dispositivos de sombreamento como elementos de oclusão nocturna. No entanto, apenas alguns dos dispositivos de sombreamento possuem boa estanquidade ao ar. Alguns exemplos são as portadas, quer interiores, quer exteriores, as persianas, de preferência com isolamento e os estores venezianos de lâminas reguláveis. Pelo contrário, os estores de lâminas, as cortinas, as palas e os toldos de lona, são elementos de sombreamento que não servem como dispositivos de oclusão nocturna com boa estanquidade.

A avaliação da influência dos envidraçados no comportamento térmico dos edifícios foi realizada em função da sua área, que neste estudo é, como já referido, de cerca de 15% da área de pavimento do compartimento em que se encontra inserido, sendo esta percentagem, na fase inicial, mantida independentemente da orientação.

O estudo da influência dos envidraçados no comportamento térmico dos edifícios foi realizado em duas fases: em primeiro lugar analisou-se a influência do tipo de envidraçados, avaliando-se de seguida a importância dos dispositivos de sombreamento.

Além do estudo da influência da área, do tipo de envidraçado, do tipo de caixilho e da estanquidade do dispositivo de oclusão nocturno no desempenho térmico dos edifícios, analisou-se também a influência dos dispositivos de sombreamento nas necessidades energéticas de arrefecimento.

O tipo de dispositivos de sombreamento analisados foi os de utilização mais corrente em Portugal, estando divididos em dois tipos, em função da sua localização: no interior ou no exterior do envidraçado.

Para cada tipo de dispositivo foi também avaliada a influência da cor do dispositivo de protecção.

3.5.4 Materiais

Actualmente há um interesse crescente em soluções construtivas que utilizem materiais naturais que reduzam o impacte ambiental da construção. Esta estratégia pode conduzir à diminuição da utilização de materiais convencionais, muito industrializados e com elevado consumo de energia para a sua produção, limitando assim o uso de soluções construtivas não recicláveis e não reutilizáveis.

O uso de soluções não convencionais, como painéis sanduíche com materiais naturais e leves (cortiça, fibra de coco, gesso cartonado, cimento com aparas de madeira), é uma forma de aumentar a sustentabilidade das construções. Porém, a falta informação sobre o comportamento térmico e acústico destas soluções conduz muitas vezes à sua não utilização.

A utilização de matérias-primas do tipo alumino-silicatos, em particular os caulinos, abundante em Portugal, em materiais geopoliméricos (argamassas e geobetões), que apresentam bom comportamento mecânico e resistência à maioria dos agentes agressivos que afectam a integridade estrutural dos ligantes tradicionais, é uma possibilidade interessante para a sustentabilidade, pois para a mobilização destes produtos não se envolve a libertação de grandes quantidades de CO₂, como é o caso do cimento Portland e cal, permitem a inclusão de um grande número de resíduos inorgânicos, desde os ricos em sílica e alumina, a incorporação de escombros de explorações mineira, pó de vidro e materiais cerâmicos (tijolo, telha e porcelana) permitindo assim valorizar este tipo de resíduos, em vez de serem depositados em aterros ou depósitos (Pinto, 2004).

Por outro lado na activação alcalina são utilizados subprodutos de outros processos industriais, como o hidróxido de sódio (excedente da indústria de produção de PVC) e o silicato de sódio que resulta da reacção elementar do hidróxido de sódio sobre a sílica, que é um dos materiais mais abundantes na crosta terrestre (Pinto, 2004).

A utilização de materiais geopoliméricos é uma forma de melhorar a sustentabilidade dos edifícios, mantendo a sua capacidade resistente em termos estruturais, de resistência ao fogo, etc. (Pinto, 2004). No entanto, uma vez que é um material pouco aplicado é necessário estudar o seu comportamento higrotérmico e acústico.

A pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias construtivas deve contribuir para melhorar a sustentabilidade e a qualidade geral dos edifícios e em especial o seu conforto global.

Neste contexto, o desempenho higrotérmico, acústico, lumínico e de QAI dos edifícios tem um papel importante na definição dessa qualidade.

Capítulo 4 - Simulação do Comportamento Higrotérmico, Acústico, Lumínico e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações realizadas, no que respeita a previsão dos consumos energéticos dos edifícios e das condições de conforto térmico no seu interior, sendo necessário para tal considerar as condições térmicas e de ventilação. Foi também simulado o desempenho lumínico dos edifícios e previsto o número de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior.

A previsão do isolamento acústico dos elementos da envolvente (paredes exteriores, paredes e lajes de separação entre habitações e entre habitações e zonas de circulação) é também apresentada.

Esta previsão foi realizada tendo em consideração diversas áreas de envidraçados e para diferentes soluções construtivas, de modo a avaliar o seu efeito no comportamento global dos edifícios, verificar se cumprem os requisitos e recomendações definidos na regulamentação nacional e internacional aplicável a cada uma e também identificar as melhores soluções.

4.1 Introdução

Existem diversos factores que influenciam o comportamento do edifício e que afectam a Qualidade do Ambiente Interior, ou seja as condições de conforto, sendo por isso necessário realizar a análise da sua influência.

Os factores considerados neste estudo podem conduzir à obtenção das condições de conforto global no interior dos edifícios e também à redução dos seus consumos energéticos.

Alguns deles, no entanto, estão fora da alçada do projectista do edifício e por isso são considerados de forma indirecta. É o caso da densidade de urbanização e do modo de implantação dos edifícios nos lotes, que é da responsabilidade dos técnicos ligados ao Planeamento Urbano. Tanto uma como a outra são uma imposição das entidades licenciadoras e não dizem directamente respeito ao edifício.

Desta forma para este estudo considerou-se que a densidade de urbanização e a implantação do edifício no lote é tal que não provoca o sombreamento do edifício em análise.

A localização dos compartimentos, de acordo com as suas necessidades de aquecimento e arrefecimento e a localização das aberturas, em função dos ganhos solares e das necessidades de ventilação são, em geral, uma opção de arquitectura, em função da articulação dos espaços entre si e da sua funcionalidade, sendo também um dos factores importantes para o bom comportamento dos edifícios.

Outro parâmetro importante é a forma do edifício, traduzida pelo factor de forma, pois define o uso do solo, não só directamente, através da área de implantação do edifício, mas também através da necessidade de infra-estruturas, da utilização dos espaços públicos envolventes e do impacte nos edifícios adjacentes (sombreamento e protecção dos ventos dominantes). Influencia, em especial, as trocas de calor através da envolvente (quanto maior é a área da envolvente, para o mesmo volume, maiores serão as trocas de calor com o exterior).

Deste modo a influência da forma e configuração dos edifícios, da orientação, do tipo de inércia (massa) é avaliada tendo em consideração o tipo de envolvente e de envidraçados utilizados (tipo de envidraçados e dispositivos de sombreamento usados).

Cada elemento construtivo foi caracterizado, tendo em atenção as propriedades que intervêm para o comportamento global do edifício, através da massa, rugosidade, cor, condutividade, densidade, calor

específico, transmitância, reflectância, absorvância térmica, solar e visível do valor do coeficiente global de transferência de calor (U), transmissividade, podendo, por isso, os resultados desta análise ser extrapolados para qualquer outro tipo de elemento com as mesmas características.

4.2 Avaliação do Comportamento Térmico, do Desempenho Energético, do Comportamento Acústico, Avaliação das Condições de Iluminação, da Qualidade do Ar Interior e das Condições de Ventilação

Para avaliar a qualidade térmica dos edifícios será simulado o comportamento, prevendo as necessidades de aquecimento e arrefecimento, para manter a temperatura interior entre 20 e 25°C (zona de conforto). Serão também avaliadas as condições de iluminação e a QAI, através do número de renovações de ar por hora.

A qualidade acústica dos edifícios será avaliada através da estimativa dos índices de índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,W}$, do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,W}$, entre o exterior e o interior dos edifícios e do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,W}$, dos elementos da envolvente.

Depois de avaliados estes indicadores da qualidade de um edifício é necessário estudar as interacções entre eles, uma vez que os factores que influenciam o comportamento higrotérmico, acústico, lumínico e a QAI conduzem, em geral, a soluções que apenas garantem uma ou duas das exigências de conforto (por exemplo a utilização de elementos pesados, que possuem bom isolamento a sons de condução aérea, pode também contribuir para um melhor comportamento térmico, devido à massa de armazenamento térmico).

Em alguns casos o factor interfere apenas num dos indicadores (a cor das superfícies interiores é importante para a qualidade lumínica de um recinto, mas não interfere com as suas capacidades acústicas). Mas em muitos casos os factores são incompatíveis, em especial as estratégias de iluminação e ventilação e as estratégias de melhoria das capacidades térmicas e acústicas (por exemplo a existência de envidraçados a norte, que por questões térmicas e acústicas devem ser de pequenas dimensões, mas que por questões de iluminação e ventilação cruzada devem ter maiores dimensões, outro exemplo é a necessidade de ventilação dos espaços, para garantir a QAI, que, uma vez que de Inverno retira ar interior mais quente e de Verão extrai ar mais fresco, irá reduzir as condições de conforto térmico e aumentar os consumos energéticos de aquecimento e arrefecimento).

Então, devido à incompatibilidade entre as diversas exigências de conforto é necessário realizar uma análise integrada do comportamento higrotérmico, acústico e das exigências de iluminação e ventilação para otimizar o desempenho dos edifícios e dos seus elementos constituintes de modo a garantir as condições globais de conforto dos habitantes, considerando as exigências de redução dos consumos energéticos e de sustentabilidade dos mesmos, de modo a, através de uma análise multicritério, seleccionar um conjunto de soluções (considerando aspectos geométricos, escolha de soluções construtivas e materiais) a implementar para garantir o desempenho otimizado do edifício.

Os primeiros passos do estudo foram a identificação e selecção de soluções construtivas e materiais a estudar, bem como dos programas de simulação a utilizar para a realização do estudo.

O estudo foi desenvolvido em duas vertentes: uma experimental (apresentada no capítulo 5) e outra de simulação numérica, apresentada de seguida.

A componente experimental foi realizada nas Células de Teste de Edifícios não convencionais do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, onde foram testadas diversas soluções construtivas (convencionais e novas) para paredes, coberturas, pavimentos, envidraçados, dispositivos de sombreamento e sistemas solares activos e

passivos (paredes de armazenamento térmico, estufa adossada, etc.), que permitiram a calibração do modelo de simulação térmica.

As medições in situ levadas a cabo nas Células de Teste permitiram medir, além da temperatura ambiente, T_{amb} , da humidade relativa, H_r , e da Iluminância, as temperaturas superficiais da envolvente, T_{sup} , e os fluxos de calor, Q , possibilitando a calibração dos modelos de cálculo. foram também realizadas medições in situ para determinar o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{2m,n,w}$, entre o exterior e o interior (segundo o descrito nas normas NP EN ISO 140 e NP EN ISO 717),

Depois de os programas estarem calibrados, o comportamento das diversas soluções construtivas foi simulado de modo a determinar as suas potencialidades utilizando para a simulação vários edifícios definidos utilizando por base dois edifícios tipo T3, que permitem modelar situações de habitações com 1, 2, 3 ou 4 frentes.

De seguida a adequabilidade das soluções construtivas foi verificada através da simulação e da realização de medições In situ das suas potencialidades através de alguns exemplos práticos.

Existe uma multiplicidade de programas de simulação em cada uma das áreas estudadas e alguns dos programas versam mais do que uma das áreas em questão, como é o caso dos programas de simulação térmica, que analisam também as questões de iluminação e ventilação e permitem importar e/ou exportar dados e resultados para outros programas, como por exemplo o EnergyPlus, que utiliza uma base do COMIS para realizar o estudo de ventilação. O Ecotect, além de permitir exportar os dados para o Radiance, permite também realizar o estudo do comportamento acústico dos elementos da envolvente.

Outros programas são específicos de uma determinada área, como é o caso do Acoubat Sound, que efectua apenas o estudo do desempenho acústico dos elementos construtivos, considerando também a transmissão marginal.

Assim a componente de simulação numérica foi realizada com o recurso a vários programas de cálculo EnergyPlus, VisualDOE e Ecotect, Acoubat Sound, RELUX, Comis Studio, NatVent, Aiolos, DesktopRadiance e RETscreen. Depois deste estudo prévio os programas EnergyPlus, Ecotect, DesktopRadiance, Acoubat Sound e Comis Studio foram seleccionados para realizar a análise.

Os edifícios base, que representam os edifícios portugueses, foram utilizados para avaliar vários tipos de edifícios (unifamiliares isolados, geminados e em banda e multifamiliares com diversas configurações) definidos com base nas duas habitações tipo definidas e as diferentes soluções estudadas (relativas à forma, geometria, soluções construtivas, etc.), através da simulação do seu desempenho, sendo depois estas soluções optimizadas.

Nos pontos seguintes são apresentados os resultados obtidos com este estudo e as principais ilações a tirar dos mesmos.

4.3 Simulação do Comportamento Higrotérmico de Edifícios

A previsão do comportamento higrotérmico, associado ao conforto térmico dos ocupantes, aos consumos energéticos e à sustentabilidade dos edifícios é muito importante.

Existe um grande número de factores que afectam o desempenho de um edifício, como por exemplo as soluções construtivas, a área e tipo de envidraçado e sistema de sombreamento, etc., sendo por isso importante conhecer o seu efeito e o seu peso relativo.

Mas estes factores afectam não só comportamento higrotérmico e o conforto térmico do edifício, mas também o comportamento lumínico, acústico e a qualidade do ar interior e, por vezes, o seu efeito é oposto, sendo vantajoso para um dos elementos e penalizador para outros.

É, assim, necessário considerar os efeitos dos diferentes factores na Qualidade do Ambiente Interior.

Para realizar a análise energética de um edifício corrente, deve ser seguida uma sequência para preparar a simulação:

- 1) Analisar o projecto procurando prever o tipo de sistema a utilizar e quantas zonas distintas de controlo (ou zonas com sistema distinto existirão);
- 2) Obter o ficheiro de dados climatéricos do local ou de um local próximo (preferencialmente uma aproximação conservativa);
- 3) Dividir o edifício num conjunto de zonas térmicas e simplificar a geometria o mais possível tendo em conta as aproximações do modelo utilizado;
- 4) Colectar informação sobre os materiais utilizados, os ganhos internos e os períodos de utilização prevista;
- 5) Planear o conjunto de simulações a realizar, alternativas de geometria, ganhos e composição da envolvente a considerar;
- 6) Após introdução dos dados base fazer um conjunto de simulações exploratórias e voltar a pensar sobre o projecto, refazer o ponto 5 caso necessário;
- 7) Realizar as diferentes simulações pretendidas e analisar os resultados obtidos, de modo a otimizar o projecto.

O estudo efectuado foi realizado de forma sequencial, em primeiro lugar foi estudado um “edifício” de geometria paralelepédica, constituído apenas por uma zona, sendo avaliadas diversas soluções construtivas, orientação, volumetrias, etc.. Foi depois definido um conjunto de dois edifícios com geometria diferente, mas com área e volume idênticos, um com duas frentes e outro com uma frente, representativos dos edifícios portugueses. Este modelo foi calibrado tendo por base a simulação das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais e da comparação dos resultados da simulação com os valores medidos in situ.

De seguida apresentam-se os resultados dos diferentes estudos efectuados.

4.3.1 Simulação Energética de Edifícios de Geometria Simples

O primeiro passo realizado foi avaliar o peso dos diferentes factores que influenciam o comportamento higrotérmico de edifícios, tendo para tal sido definido um espaço de geometria simples, de modo a permitir a realização das análises pretendidas.

Para ser possível fazer uma análise comparativa foi minimizado o número de variáveis e de factores externos a afectar o estudo. Foi analisado o efeito cada parâmetro de forma individual, sendo depois comparados os resultados obtidos.

Assim sendo, a planificação das várias iterações a processar, é feita a partir de determinadas soluções iniciais, que se pretende sejam constantes, para assim se poder efectuar uma análise equitativa das várias

Os pressupostos para a realização da análise realizada foram os seguintes:

- Uma zona independente, de geometria simples de forma paralelepédica com 10 x 8 x 3 m³;
- A fachada principal está orientada a Sul;
- O ficheiro climático utilizado foi o da região do Porto;

- O período de simulação foi de um ano (de 1 de Janeiro a 31 de Dezembro);
- A área de envidraçado corresponde a 15% da área do pavimento, e encontram-se centradas na fachada em que estão inseridas;
- O período de utilização do edifício considerado foi de 24 horas;
- O controlo da temperatura interior da zona é efectuado com um termóstato que acciona os equipamentos de climatização, para manter a temperatura ambiente entre 20° e 25° C.
- A solução inicial para as cargas térmicas interiores considera a existência de ganhos internos no período das 18h às 7h.
- A laje térrea mantém sempre a mesma constituição, com isolamento térmico pelo exterior em poliestireno expandido extrudido com 100 mm de espessura, sob uma laje de betão armado com 200 mm. Este facto pretende simular que o edifício se encontra em contacto com o terreno, e pretende-se que este não seja um factor que diferencie as diversas iterações.

Na Figura 4.1 apresenta-se uma perspectiva da geometria do edifício estudado.

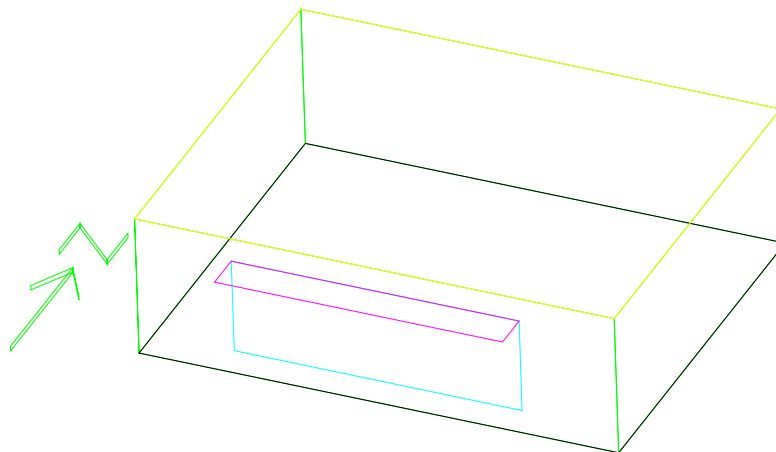


Figura 4.1 - Vista 3D da solução inicial para C_T

A identificação das várias iterações foi realizada utilizando o seguinte formato (x.x.x.x.x.x.idf), em que cada índice corresponde a um parâmetro, que toma o valor correspondente às diversas soluções.

De seguida apresentam-se os diferentes parâmetros avaliados. As diferentes hipóteses estudadas são apresentadas no Anexo III.

1º Parâmetro - Geometria da Zona (x.x.x.x.x.x.idf)

Foi definida uma geometria paralelepípedica com 240 m³ (10 m x 8 m e 3 m de pé-direito), orientado a Sul;

2º Parâmetro - Soluções Construtivas das Paredes da Envolvente (x.x.x.x.x.x.idf)

Foram consideradas cinco hipóteses, sendo os materiais seleccionados e as soluções construtivas (definidas do exterior para o interior, tal como no EnergyPlus) típicas das construções portuguesas.

A espessura final da parede mantém-se aproximadamente constante nas diferentes hipóteses consideradas, para assim se obter uma avaliação mais equilibrada das capacidades de resposta de cada solução, bem como, a espessura do isolamento térmico.

3º Parâmetro – Soluções Construtivas da Laje de Cobertura (x.x.x.x.x.x.idf)

As soluções construtivas definidas para a cobertura foram de cobertura plana, cobrindo a utilização dos três tipos de elementos de suporte usualmente usadas em Portugal (laje de betão armado, laje aligeirada e laje alveolar). A camada de protecção foi desprezada, uma vez que não é garantida a estanquidade das mesmas.

4º Parâmetro – Soluções Construtivas dos Envidraçados (x.x.x.x.x.x.idf)

Sendo os envidraçados os elementos com maiores trocas térmicas com o exterior, a sua escolha é muito importante, sendo a caixilharia, o tipo de vidro e também os elementos de sombreamento factores também eles preponderantes. A 1ª hipótese estudada define os envidraçados com uma solução de vidro duplo. Posteriormente foram consideradas novas hipóteses para este parâmetro, de modo a otimizar a eficiência energética do edifício.

5º Parâmetro – Disposição dos Envidraçados no Edifício (x.x.x.x.x.x.idf)

A área de envidraçados definida foi de 15% da área útil de pavimento, correspondendo a 12 m² (0,15 x 80 m²) de modo a aproveitar os ganhos solares de Inverno e a reduzir os ganhos solares indesejáveis de Verão.

6º Parâmetro – Sombreamento dos Envidraçados (x.x.x.x.x.x.idf)

Foi considerada apenas a existência sistemas de sombreamento fixos, sendo considerada a existência de palas horizontais como sistema de sombreamento dos envidraçados.

7º Parâmetro – Carga Térmica Interior (x.x.x.x.x.x.idf)

A carga térmica gerada no interior é devida aos ocupantes, aos equipamentos e à iluminação. A hipótese considera que esses ganhos ocorrem durante o horário compreendido entre as 9-20h.

Foram realizadas 180 simulações, usando o programa EnergyPlus, correspondendo às diferentes combinações possíveis para as hipóteses consideradas para os diferentes parâmetros, tendo sido determinados consumos energéticos de aquecimento (designados por C_i) e de arrefecimento (representados por C_v) e globais ($C_T = C_i + C_v$) apresentados no Anexo III.

De seguida efectua-se a comparação e análise dos resultados.

4.3.2 Análise Comparativa dos Resultados

A análise comparativa dos resultados foi realizada tendo como situação base a solução correspondente à iteração 2.1.1.1.1.1.1. As soluções construtivas da envolvente nesta iteração eram:

- parede de fachada composta por reboco, tijolo cerâmico furado de 15 cm, caixa-de-ar de 4 cm preenchida com 2 cm de isolamento térmico (poliestireno expandido extrudido), tijolo cerâmico furado de 11 cm e 2 cm de reboco;
- cobertura constituída por uma laje maciça de betão armado com 20 cm de espessura, com 5 cm de poliestireno expandido extrudido pelo exterior, com protecção pesada pelo exterior e reboco no interior;
- envidraçado, orientado a sul, com vidro duplo (6 mm + 10 mm + 6 mm), com 6 m de largura e 2 m de altura, com pala horizontal com 80 cm de largura como elemento de sombreamento.

COMPARAÇÃO DAS DIVERSAS SOLUÇÕES

A comparação das diversas soluções, para cada um dos parâmetros, foi realizada fazendo variar um único parâmetro de cada vez, definindo um índice de eficiência energética relativa para cada solução.

Desta forma podem-se observar as diferenças nas necessidades energéticas, comparando a eficácia de cada solução.

Variação das soluções construtivas das Paredes de Fachada

O primeiro parâmetro a comparar foi o referente à solução construtiva da parede exterior, este foi o único parâmetro a variar.

Na Figura 4.2, representam-se os resultados relativos à comparação das soluções construtivas das paredes exteriores.

É possível verificar, na Figura 4.2, que a solução construtiva base (2.1.1.1.1.1), é aquela que possui melhor comportamento na estação de aquecimento, e também quando se analisa o desempenho anual da zona. Quando em análise estão as necessidades de energia para arrefecimento, a parede de betão armado com 20 cm de espessura, isolada pelo exterior com 2 cm de poliestireno expandido extrudido é a melhor solução.

Na estação de aquecimento e também para os consumos anuais de energia a solução 2.1.1.1.1.1, com o menor coeficiente de transmissão térmica, e por isso com menores perdas entre o interior e o exterior é a melhor solução, com 40% menos consumos energéticos no Inverno e 17% menos ao longo do ano, do que os da parede de betão armado.

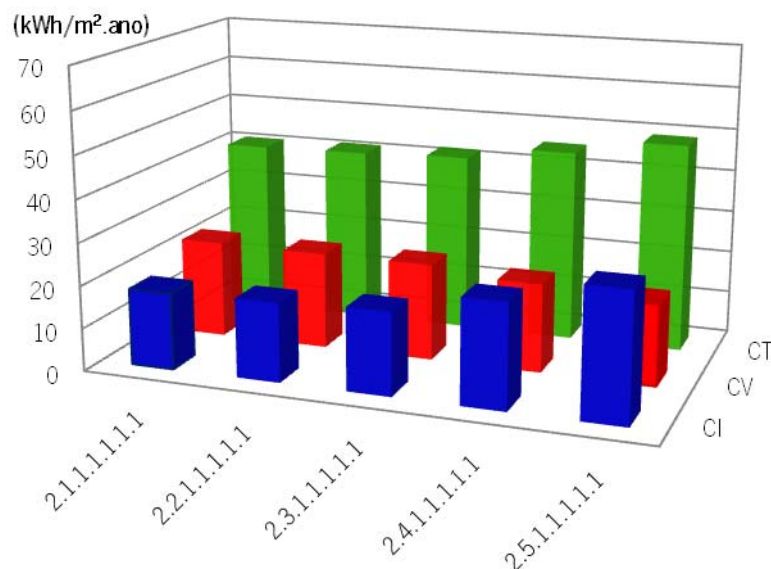


Figura 4.2 – Consumos energéticos das diferentes soluções construtivas da parede exterior

Na estação de arrefecimento a solução 2.5.1.1.1.1, parede de betão armado, com maior massa de armazenamento térmico, o que aumenta a absorção dos ganhos solares e diminui as amplitudes térmicas é a solução com melhor desempenho, consumos energéticos cerca de 17% inferiores ao da solução base. No entanto, devido à maior condutibilidade térmica é a solução com pior comportamento na estação de aquecimento.

Variação da Solução construtiva da Laje de Cobertura

Analisando as soluções construtivas da laje de cobertura verifica-se que a melhor solução é a de laje maciça de betão armado com 20 cm, de espessura com 5 cm, de poliestireno expandido extrudado pelo exterior (2.1.1.1.1.1), tal como mostra a Figura 4.3.

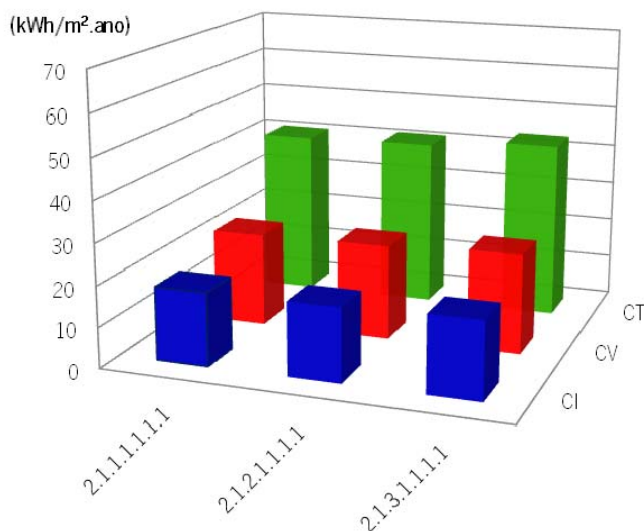


Figura 4.3 – Consumos energéticos das diferentes soluções construtivas da laje de cobertura

No entanto as diferenças entre as diferentes soluções construtivas são muito ligeiras, sendo a perda de eficácia global máxima da ordem dos 6%.

Variação da Características dos Envidraçados

A orientação e a existência de um dispositivo de sombreamento afecta o desempenho energético dos edifícios.

O efeito da orientação dos envidraçados e da área de envidraçado por orientação é apresentada na Figura 4.4, considerando a existência de palas horizontais como sistema de sombreamento, onde é possível verificar que, tal como era de prever, a situação com melhor desempenho é a que possui a maior área de envidraçado a Sul (2.1.1.1.1.1.1).

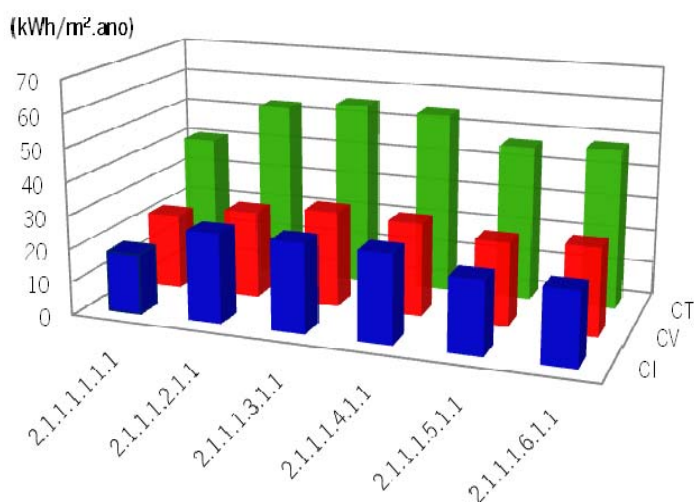


Figura 4.4 – Consumos energéticos em função da orientação dos envidraçados com sistema de sombreamento

A otimização dos ganhos solares e do seu aproveitamento de Inverno e a redução dos ganhos solares de Verão, conseguido devido à existência do sistema de sombreamento, permitem reduzir os consumos energéticos anuais em mais de 13%.

Comparando situações com e sem sistema de sombreamento a protegerem os envidraçados, a solução com melhor comportamento ao longo do ano é a com o envidraçado a Sul com uma pala horizontal (2.1.1.1.1.2.1), tal como mostra a Figura 4.5, uma vez que durante o Inverno se maximiza a utilização dos ganhos solares e de Verão se minimizam os mesmos.

A solução com melhor comportamento na estação de arrefecimento, ou seja, a com menores ganhos solares, é a iteração 2.1.1.1.2.2.1, com envidraçados a Este.

De Verão se existir um envidraçado a nascente (2.1.1.1.2.2.1), a radiação solar incide sobre este durante o período da manhã, altura em que as temperaturas exteriores são menores, sendo também os consumos de energia para arrefecimento menores.

Se o envidraçado estiver orientado a poente, os ganhos solares são perniciosos, uma vez que a radiação solar incide no envidraçado no período da tarde, quando as temperaturas são mais elevadas, aumentando os consumos energéticos para manter a temperatura ambiente interior de acordo com a temperatura de referência de 25° C.

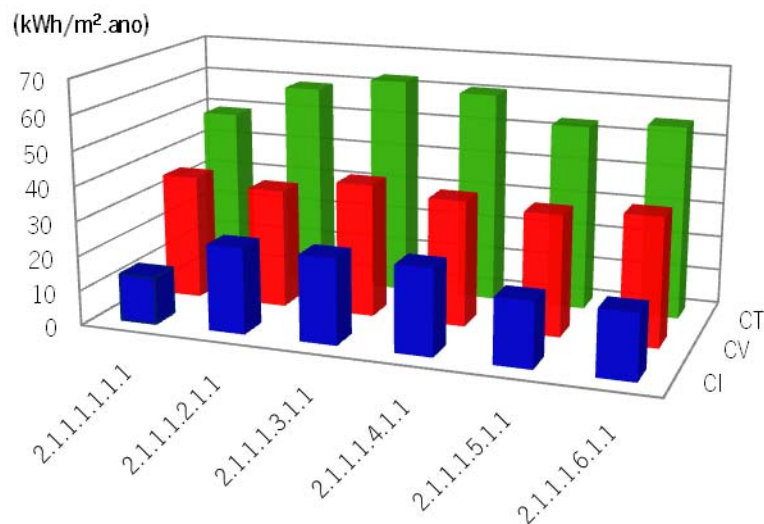


Figura 4.5 – Consumos energéticos em função da orientação dos envidraçados sem sistema de sombreamento

Comparando uma situação com envidraçados a Sul, com e sem sistema de sombreamento (pala horizontal), verifica-se que os consumos energéticos anuais aumentam, cerca de 17%, devido ao aumento do consumo de energia para arrefecimento, tal como mostra a Figura 4.6.

Não existindo sombreamento (2.1.1.1.1.2.1), os ganhos solares são maiores durante o Inverno, sendo os consumos energéticos 25% menores. Mas, de Verão a existência de sombreamento permite reduzir os consumos energéticos em 36%.

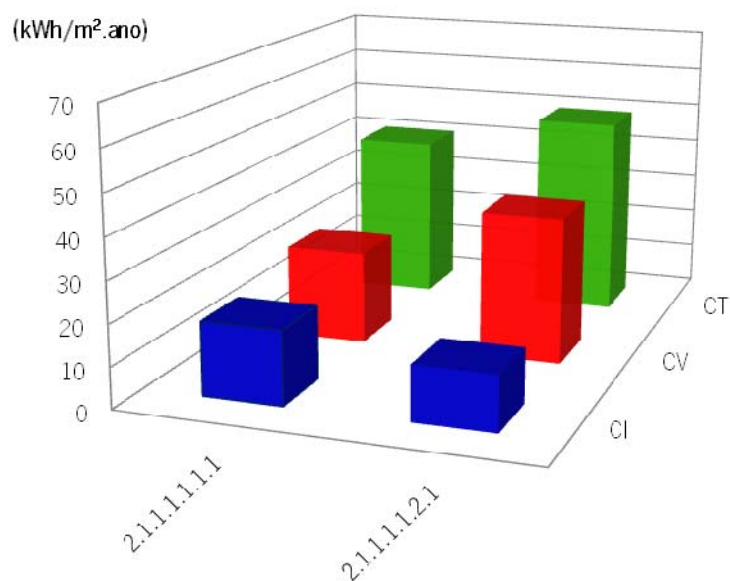


Figura 4.6 – Consumos energéticos em função da existência ou não de sistema de sombreamento

Implicação relativa das diversas variações analisadas

O peso relativo de cada um dos parâmetros pode ser verificado na Figura 4.7, comparando a máxima variação de eficiência, para as necessidades energéticas anuais, que cada solução pode conduzir.

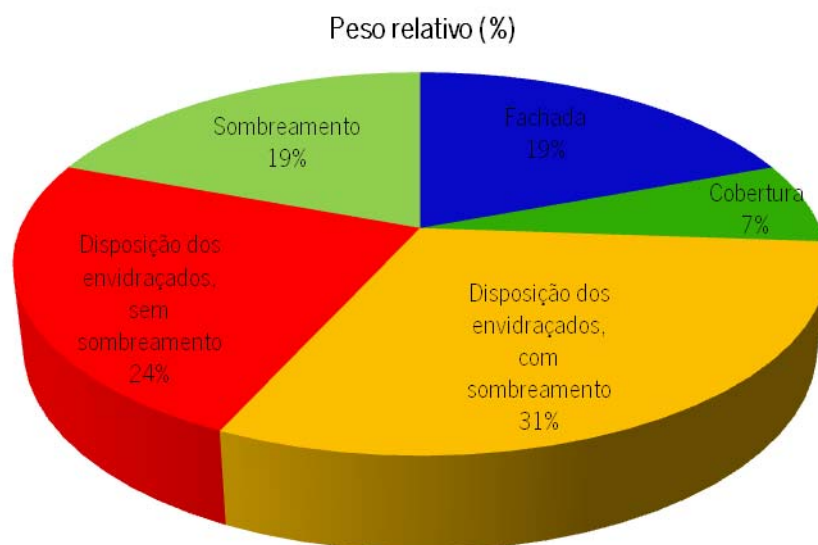


Figura 4.7 – Representação da importância relativa de cada variação implementada

Qualquer que seja o parâmetro em análise verifica-se que a solução mais eficaz é a inicial (2.1.1.1.1.1.1). Tomando como exemplo a avaliação da solução construtiva da parede de fachada, verificou-se que entre as diversas hipóteses, a redução máxima nos consumos energéticos anuais era de 17%.

Ponderando a importância de cada um destes valores sobre o somatório dessas mesmas variações máximas, obtém-se a importância relativa de cada parâmetro. Assim sendo, o factor que mais influencia a eficiência energética do edifício é a orientação dos envidraçados em função da existência ou não de dispositivos de sombreamento, com um peso relativo superior a 30%. O menor peso corresponde à solução construtiva da laje de cobertura, 7%.

Os pesos relativos apresentados na Figura 4.7 correspondem a uma situação de qualidade mínima das soluções construtivas adoptadas, de modo a respeitar o RCCTE (RCCTE, 2006).

Alteração da localização geográfica

Para a hipótese com melhor desempenho (2.1.1.1.1.1) foi considerada a diferença nos consumos energéticos em função da localização. As localizações consideradas foram, para além do Porto, Bragança, Lisboa e Faro, sendo os resultados apresentados na Figura 4.8.

Face ao clima das diferentes cidades, Bragança é a localização com maiores consumos energéticos de aquecimento (59% superiores ao Porto), sendo também as necessidades de arrefecimento 11% superiores às de um “edifício” com as mesmas características localizado no Porto, uma vez que de Inverno as temperaturas são mais baixas, e a duração da estação de aquecimento é maior e de Verão as temperaturas são superiores às observadas no Porto.

Em Faro os consumos energéticos do “edifício” na estação de aquecimento são 87% inferiores e na estação de arrefecimento 63% superiores aos do Porto. Este desempenho deve-se ao facto de as temperaturas nesta zona do país serem mais altas.

Para Lisboa os consumos energéticos de Inverno são 73% inferiores e de Verão são cerca de 53% superiores aos do “edifício” no Porto. Anualmente os consumos energéticos do “edifício” são 23% superiores em Lisboa do que no Porto.

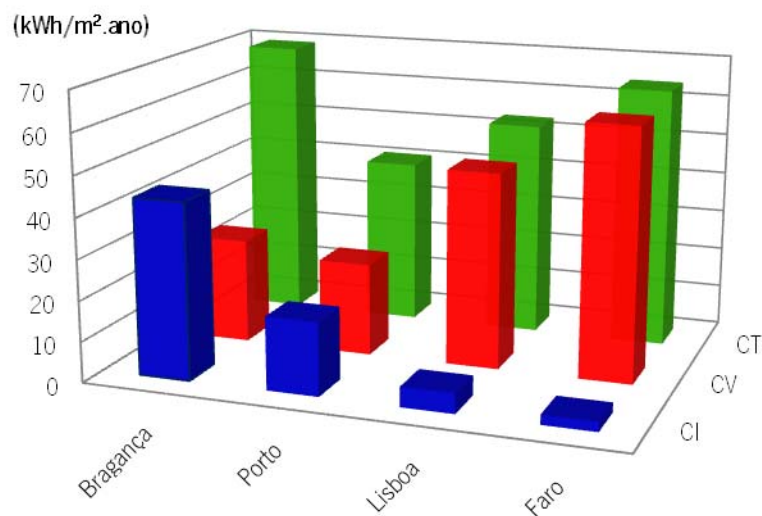


Figura 4.8 – Consumos energéticos para diferentes localizações

A maior amenidade do clima do Porto, leva a que seja aqui que o “edifício” em análise obtenha o melhor desempenho para a estação de arrefecimento e também a nível anual.

4.3.3 Optimização da Eficiência Energética

Avaliando os resultados do estudo efectuado é possível otimizar os consumos energéticos de aquecimento e arrefecimento individualmente, bem como, definir uma solução optimizada para as soluções construtivas do edifício.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE AQUECIMENTO (C_i)

A menor necessidade energética para aquecimento (C_i) corresponde à iteração 2.1.1.1.2.1, sendo de 13,5 kWh/m².ano.

Na Figura 4.9 apresenta-se uma perspectiva do “edifício”, sem sistema de sombreamento, que foi o ponto de partida para a otimização das necessidades energéticas de aquecimento.

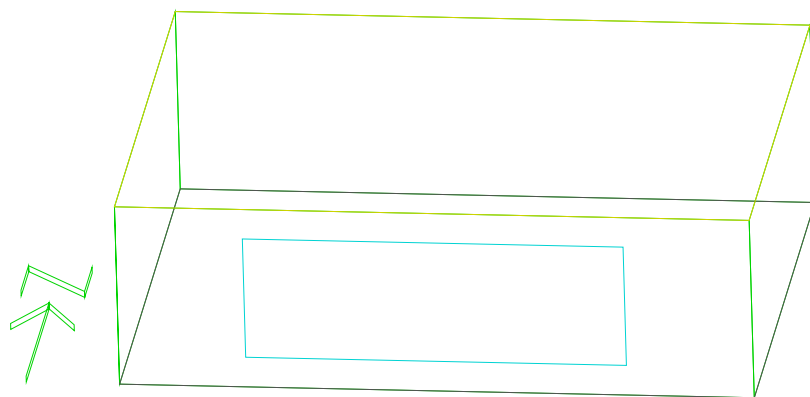


Figura 4.9 – Perspectiva da geometria da solução inicial para otimização dos consumos energéticos de aquecimento

As soluções construtivas desta hipótese inicial, são constituídas por uma parede de fachada composta por, do exterior para o interior, 2 cm de reboco, tijolo cerâmico furado de 15 cm, caixa-de-ar de 4 cm preenchida com 2 cm de poliestireno expandido extrudido, tijolo cerâmico furado de 11 cm e 2 cm de reboco. A laje de cobertura é composta por uma laje maciça de betão armado com 20 cm, isolada termicamente pelo exterior com 5 cm de poliestireno expandido extrudido e 2 cm de reboco no interior. Os envidraçados são de vidro duplo de 6 mm, com caixa-de-ar de 10 mm, orientado a sul, com 6 m de largura e 2 m de altura, sem sistema de sombreamento.

Para otimizar esta solução na estação de aquecimento foram avaliados os diferentes parâmetros, de forma a obter uma melhor eficiência energética, partindo da iteração inicial (2.1.1.1.2.1).

Alteração da geometria do edifício

Uma possibilidade de optimização, Hipótese a, é a alteração da geometria do “edifício”, mantendo a área, o pé direito e o volume.

Foi definida uma geometria cúbica $8,9443 \times 8,9443 \times 3 = 240 \text{ m}^3$. Os consumos energéticos de aquecimento, C_i da solução (2.1.1.1.2.1.a) eram de 13,5 kWh/m².ano.

Verificou-se que os consumos energéticos aumentaram ligeiramente, 0,12%, de 13,496 kWh/m².ano, para 13,512 W/m².ano, já que os ganhos solares diminuíram, porque a área da fachada Sul diminuiu.

Alteração do isolamento térmico da parede de fachada

Sem alterar a solução construtiva da parede de fachada foi estudado o efeito do aumento da espessura de isolamento térmico, variando também a espessura da caixa-de-ar. Foram consideradas as situações seguintes (2.1.1.1.2.1.bi):

Hipótese b1: Caixa-de-ar de 5 cm, preenchida com 2 cm poliestireno expandido extrudido;

- Hipótese b2: Caixa-de-ar de 5 cm, preenchida com 3 cm poliestireno expandido extrudido;
 Hipótese b3: Caixa-de-ar de 6 cm, preenchida com 3 cm poliestireno expandido extrudido;
 Hipótese b4: Caixa-de-ar de 10 cm, preenchida com 5 cm poliestireno expandido extrudido;
 Hipótese b5: Caixa-de-ar de 5 cm, totalmente preenchida com poliestireno expandido extrudido.

Os consumos energéticos em função do nível de isolamento térmico da parede de fachada são apresentados na Figura 4.10.

As necessidades energéticas descem com o aumento de espessura do isolamento, e consequente redução no coeficiente de transmissão térmica, sendo a maior redução, 32% para a caixa-de-ar de 10 cm, parcialmente preenchida com 5 cm de poliestireno expandido extrudido.

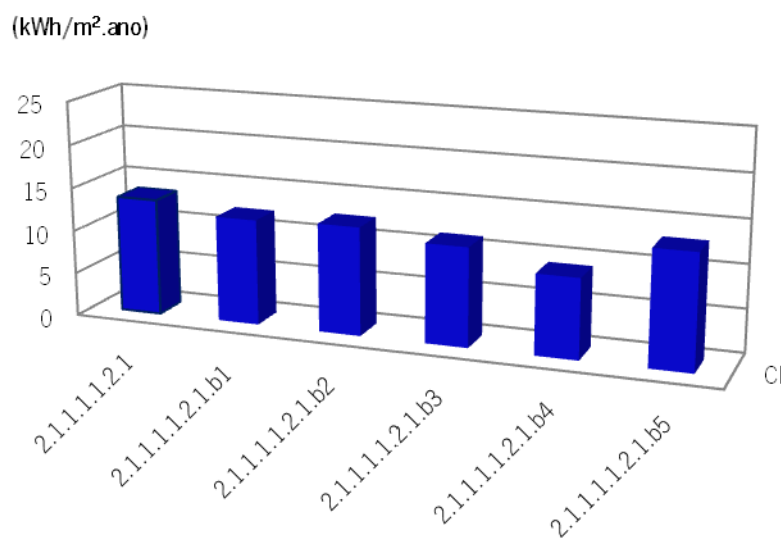


Figura 4.10 - Consumos energéticos de aquecimento alterando a espessura de isolamento térmico da parede exterior

Alteração da solução construtiva dos envidraçados

Na alteração da solução construtiva dos envidraçados, partindo da melhor solução para a parede exterior, 2.1.1.1.1.2.1.b4 de forma a otimizar o comportamento térmico na estação de aquecimento, as hipóteses consideradas foram:

- Hipótese c1: envidraçado duplo - 6 mm + 20 mm + 6 mm;
 Hipótese c2: envidraçado duplo - 8 mm + 10 mm + 8 mm;
 Hipótese c3: envidraçado duplo - 8 mm + 15 mm + 8 mm;
 Hipótese c4: envidraçado simples de 6mm.

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.11.

Como se pode verificar comparando a hipótese c1 com as hipóteses c2 e c3 a caixa-de-ar do envidraçado tem um peso considerável na eficiência energética dos envidraçados, cerca de 7%, mais do que o aumento de espessura do vidro, cerca de 4%.

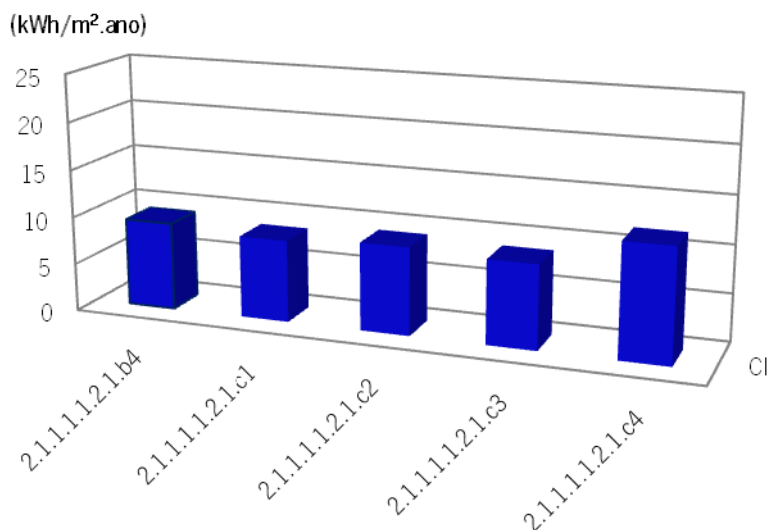


Figura 4.11 - Consumos energéticos para diferentes soluções construtivas do envidraçado na estação de aquecimento

Se o envidraçado possuir vidro simples com 6mm de espessura (hipótese c4) os consumos energéticos aumentam cerca de 29%.

Alteração da orientação do edifício

Para verificar a influência de pequenas variações do ângulo que o edifício faz com o Norte (a rotação para Este é positiva), ou seja da orientação do edifício, foram estudadas as hipóteses seguintes:

- Hipótese d1: rodar o edifício de 10° em relação ao Norte;
- Hipótese d2: rodar o edifício de -10° em relação ao Norte;
- Hipótese d3: rodar o edifício de 20° em relação ao Norte.

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.12.

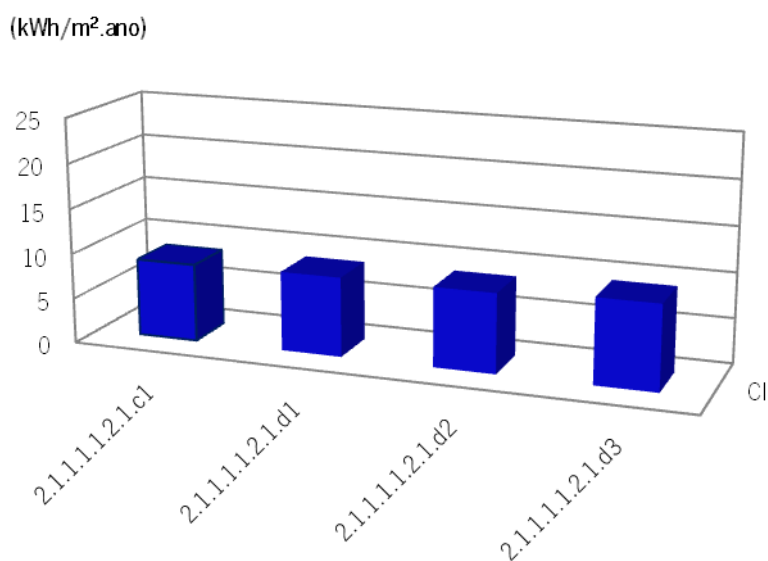


Figura 4.12 - Consumos energéticos de aquecimento em função da orientação da fachada com envidraçado

A rotação do edifício em relação ao Norte conduz, como era de esperar, a um aumento nos consumos energéticos, uma vez que os ganhos solares são inferiores já que o envidraçado deixa de estar a Sul. Uma rotação de 10° conduz a um aumento nos consumos energéticos de 2% e a rotação de 20° a quase 10%.

Solução final optimizadas as soluções construtivas

Do estudo efectuado verificou-se que é possível aumentar a eficiência energética do edifício na estação de aquecimento em mais de 50% (passando de 18,0 kWh/m².ano, hipótese 2.1.1.1.1.1, para 8,6 kWh/m².ano, para a hipótese 2.1.1.1.2.1.c1), aumentando a espessura de isolamento e da caixa-de-ar da parede exterior e da caixa-de-ar do envidraçado

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ARREFECIMENTO (C_v)

Os menores consumos energéticos de arrefecimento (C_v) correspondem à iteração 2.5.1.1.1.1, sendo de 19,0 kWh/m².ano.

Na Figura 4.13 apresenta-se uma perspectiva do “edifício”, com sistema de sombreamento, que foi o ponto de partida para a optimização das necessidades energéticas de arrefecimento.

As soluções construtivas desta hipótese inicial, são constituídas por uma parede exterior composta por, do exterior para o interior, 2 cm de reboco, 2 cm de poliestireno expandido extrudido, 20 cm de betão armado e 2 cm de reboco. A cobertura é constituída por 5 cm de poliestireno expandido extrudido, uma laje maciça de betão armado com 20 cm e 2 cm de reboco. Os envidraçados, de 6 m por 2 m, com vidro duplo, 6 mm + 10 mm + 6 mm, orientado a sul, com uma pala horizontal constituindo o elemento de sombreamento.

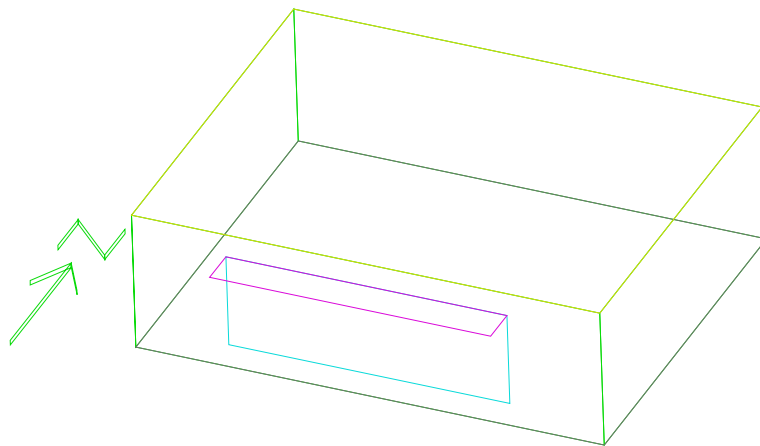


Figura 4.13 – Perspectiva da solução inicial para optimização dos consumos energéticos de arrefecimento

Para reduzir os consumos energéticos de arrefecimento foram avaliadas as alterações nos diversos parâmetros a modificar, partindo da iteração inicial (2.5.1.1.1.1).

Variação da geometria do edifício

Foi definida a mesma geometria cúbica com $8,9443 \times 8,9443 \times 3 = 240 \text{ m}^3$, que no caso da optimização dos consumos energéticos na estação de aquecimento (2.5.1.1.1.1.a).

Os consumos energéticos de arrefecimento, C_v , da solução 2.5.1.1.1.1.1 eram de 19,0 kWh/m².ano. Alterando a geometria as necessidades de arrefecimento aumentam ligeiramente, 2%, sendo de 19,3 kWh/m².ano, devido ao aumento dos ganhos através das fachadas Este e Oeste, cuja área aumentou.

Alteração da solução construtiva e do isolamento térmico da parede de fachada

Sem alterar o tipo de parede exterior (parede simples de betão armado com 2 cm de poliestireno expandido extrudido pelo exterior) foi estudado o efeito do aumento da espessura de isolamento térmico, variando também a espessura da caixa-de-ar. Foram consideradas as situações seguintes (2.5.1.1.1.2.1.bi):

Hipótese b1: 5 cm poliestireno expandido extrudido;

Hipótese b2: 1 cm poliestireno expandido extrudido;

Hipótese b3: pano de betão armado com 15 cm;

Hipótese b4: pano de betão armado com 25 cm.

Os consumos energéticos em função da espessura do pano de betão armado e do isolamento térmico da parede exterior são apresentados na Figura 4.14.

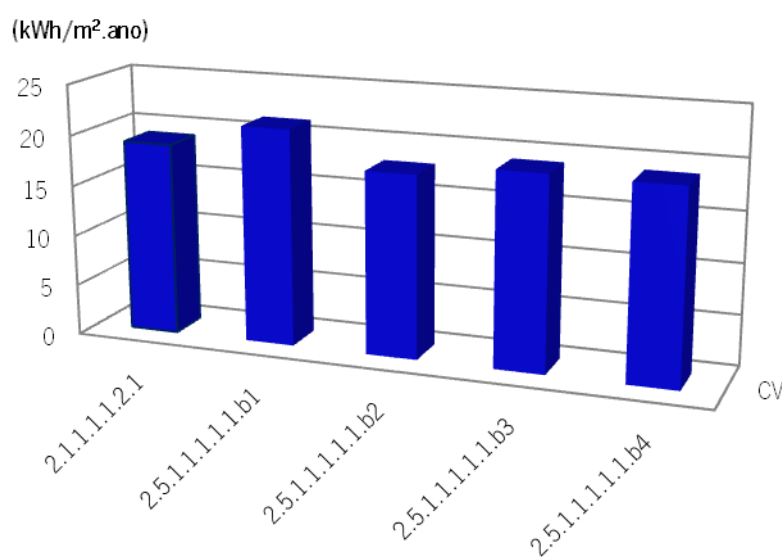


Figura 4.14 – Consumos energéticos de arrefecimento alterando a espessura do pano de betão armado e a espessura de isolamento térmico da parede exterior

As necessidades energéticas de arrefecimento aumentam com o aumento de espessura do isolamento, cerca de 11%, uma vez que a libertação do calor armazenado no pano de betão só pode ser libertado para o interior do “edifício”.

A alteração da espessura do pano de betão armado não conduziu a alterações significativas nos consumos energéticos de arrefecimento.

Alteração da solução construtiva dos envidraçados

Considerando que a parede exterior é constituída por um pano de betão armado com 15 cm, com 2 cm de poliestireno expandido extrudido pelo exterior, hipótese b3 (2.5.1.1.1.1.b3) foram consideradas as seguintes situações relativas à solução construtiva dos envidraçados:

Hipótese c1: envidraçado duplo - 6 mm + 20 mm + 6 mm;

Hipótese c2: envidraçado duplo - 8 mm + 10 mm + 8 mm;

Hipótese c3: envidraçado duplo - 8 mm + 15 mm + 8 mm.

Os consumos energéticos em função das características dos envidraçados são apresentados na Figura 4.15.

Só na situação em que se aumenta a espessura do vidro para 8 mm, mantendo o mesmo espaço de ar (2.5.1.1.1.1.c1), existe redução dos consumos energéticos, embora pouco significativo (0,3%). Tal situação ficar a dever-se ao facto de existirem menores ganhos solares através do envidraçado, inerentes ao aumento da espessura dos vidros.

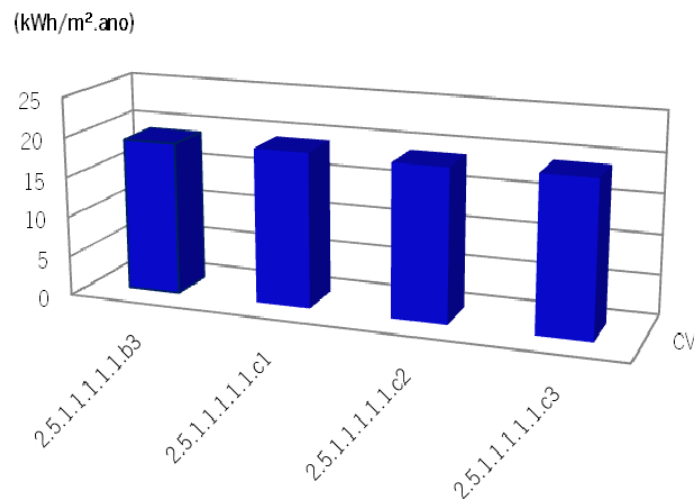


Figura 4.15 – Consumos energéticos de arrefecimento alterando a solução construtiva dos envidraçados na estação de arrefecimento

Mantendo a mesma espessura dos vidros mas aumentando a espessura da caixa-de-ar existente, para 15 mm (2.5.1.1.1.1.c3), existe um aumento dos consumos energéticos para arrefecimento que ronda os 0,8%.

Alteração da orientação do edifício

Para verificar a influência de pequenas variações do ângulo que o edifício faz com o Norte (a rotação para Este é positiva), ou seja da orientação do edifício, foram estudadas as hipóteses seguintes:

Hipótese d1: rodar o edifício de 10° em relação ao Norte;

Hipótese d2: rodar o edifício de -10° em relação ao Norte;

Hipótese d3: rodar o edifício de 20° em relação ao Norte.

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.16.

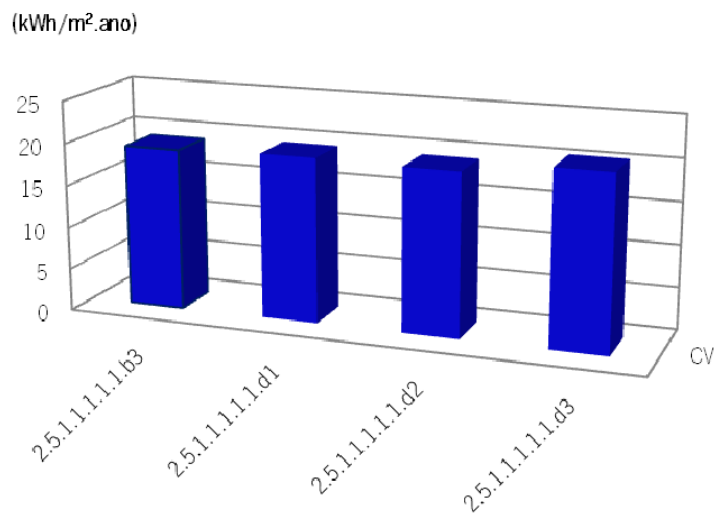


Figura 4.16 – Consumos energéticos em função da orientação da fachada com envidraçados na estação de arrefecimento

A rotação do edifício em relação ao Norte, conduz, como era de esperar, a um aumento nos consumos energéticos, uma vez que os ganhos solares são superiores devido à redução da eficiência do sistema de sombreamento fixo.

Uma rotação de 10° conduz a um aumento nos consumos energéticos de 2% e a rotação de 20° a cerca de 7%.

Alteração da geometria do sistema de sombreamento fixo

Para reduzir os consumos energéticos de arrefecimento é necessário reduzir os ganhos solares. Para tal foi avaliada a influência da geometria da pala horizontal:

Hipótese e1: aumentando a largura da pala para 0,9 m;

Hipótese e2: aumentando a largura da pala de sombreamento para 1,0 m;

Hipótese e3: diminuindo a largura da pala para 0,7 m.

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.17.

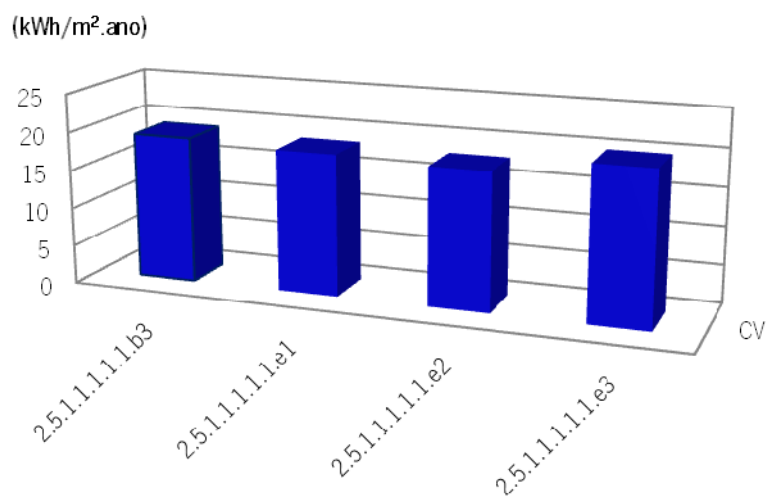


Figura 4.17 – Consumos energéticos de arrefecimento em função das dimensões da pala horizontal

O aumento da largura da pala horizontal contribui para minimizar os ganhos solares em 6%, para uma pala com 1 m (2.5.1.1.1.1.1.e3), no entanto, quanto mais se aumentasse esta dimensão maior seria a eficiência energética do edifício quanto às necessidades de arrefecimento.

Solução final optimizadas as soluções construtivas

Do estudo efectuado verificou-se que é possível aumentar a eficiência energética do edifício na estação de arrefecimento em cerca de 6% (passando de 19,0 kWh/m².ano, hipótese 2.1.1.1.1.2.1, para 18,0 kWh/m².ano, para a hipótese 2.5.1.1.1.1.1.e2), aumentando as dimensões da pala horizontal.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ANUAL (C_r)

Foram também estudadas as formas de, anualmente, melhorar o desempenho energético do edifício, partindo da iteração 2.1.1.1.1.1.1, que é a situação com menores consumos energéticos anuais (40,9 kWh/m².ano).

As soluções construtivas desta hipótese inicial são: parede exterior composta, do exterior para o interior, 2 cm de reboco, tijolo cerâmico furado de 15 cm, caixa-de-ar de 4 cm preenchida com 2 cm de poliestireno expandido extrudido, tijolo cerâmico furado de 11 cm e 2 cm de reboco; cobertura plana composta por uma camada de protecção pesada, 5 cm de poliestireno expandido extrudido, laje maciça de betão armado com 20 cm e 2 cm de reboco; envidraçados com vidro duplo 6 mm + 10 mm + 6 mm, orientado a sul, com 6 m de largura e 2 m de altura, protegido da radiação solar por uma pala horizontal.

O estudo foi realizado, tal como para a optimização das necessidades de aquecimento e arrefecimento, através da análise dos diversos parâmetros, passíveis serem alterados, de modo a se obter uma melhor eficiência energética.

As diversas situações estudadas são apresentadas de seguida.

Alteração da geometria do edifício

Para a análise do impacto da alteração da geometria do edifício foi definida a mesma geometria cúbica com 8,9443 x 8,9443 x 3 = 240 m³, que no caso da optimização dos consumos energéticos na estação de aquecimento e arrefecimento (2.1.1.1.1.1.1.a).

Os consumos energéticos anuais alterando a geometria aumentaram 0,15%, de 40,908 kWh/m².ano para 40,971 kWh/m².ano, na estação de aquecimento os consumos energéticos aumentaram 0,12% e na estação de arrefecimento aumentaram também ligeiramente, 2%.

O aumento dos consumos energéticos resultou da conjugação de dois factores, o primeiro diz respeito à diminuição do comprimento da fachada Sul, com maior insolação de Inverno, e o segundo resulta do facto de se aumentar o comprimento das fachadas que no Verão permitem maiores ganhos solares, a fachada Este e Oeste.

Alteração do isolamento térmico da parede de fachada

Tal como para as necessidades de aquecimento, sem alterar a solução construtiva da parede de fachada foi estudado o efeito do aumento da espessura de isolamento térmico, variando também a espessura da caixa-de-ar. Foram consideradas as situações seguintes (2.1.1.1.1.1.1.bi):

Hipótese b1: Caixa-de-ar de 5 cm, preenchida com 2 cm poliestireno expandido extrudido;

- Hipótese b2: Caixa-de-ar de 5 cm, preenchida com 3 cm poliestireno expandido extrudido;
- Hipótese b3: Caixa-de-ar de 10 cm, preenchida com 5 cm poliestireno expandido extrudido;
- Hipótese b4: Caixa-de-ar de 5 cm, totalmente preenchida com poliestireno expandido extrudido.

Os consumos energéticos em função do nível de isolamento térmico da parede de fachada são apresentados na Figura 4.18.

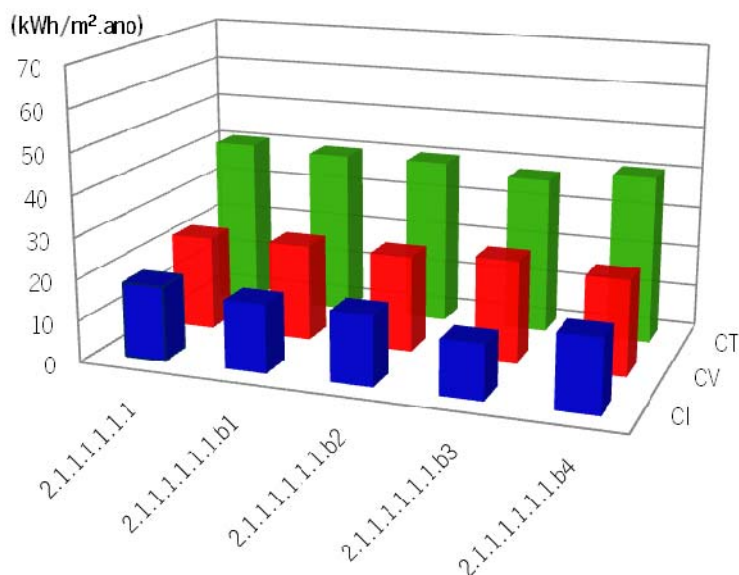


Figura 4.18 – Consumos energéticos anuais alterando a espessura da caixa-de-ar e do isolamento térmico da parede exterior

Da análise da Figura 4.18 verifica-se que os consumos energéticos anuais descem com o aumento de espessura do isolamento, e conseqüente redução no coeficiente de transmissão térmica, sendo a maior redução, 7% para a caixa-de-ar de 10 cm, parcialmente preenchida com 5 cm de poliestireno expandido extrudido (iteração 2.1.1.1.1.1.1.b3).

Esta solução conduz a uma redução de 27% nos consumos energéticos de aquecimento e a um aumento de 8% nos consumos de energia para arrefecimento.

Alteração da solução construtiva dos envidraçados

Considerando que a parede exterior é uma parede dupla 15 cm + 11 cm, com uma caixa-de-ar de 10 cm com 5 cm de poliestireno expandido extrudido, hipótese b3 (2.1.1.1.1.1.1.b3) foram consideradas as seguintes situações relativas à solução construtiva dos envidraçados:

- Hipótese c1: envidraçado duplo - 6 mm + 20 mm + 6 mm;
- Hipótese c2: envidraçado duplo - 8 mm + 10 mm + 8 mm;
- Hipótese c3: envidraçado duplo - 8 mm + 15 mm + 8 mm.

Os consumos energéticos em função da espessura da caixa-de-ar e do vidro são apresentados na Figura 4.19.

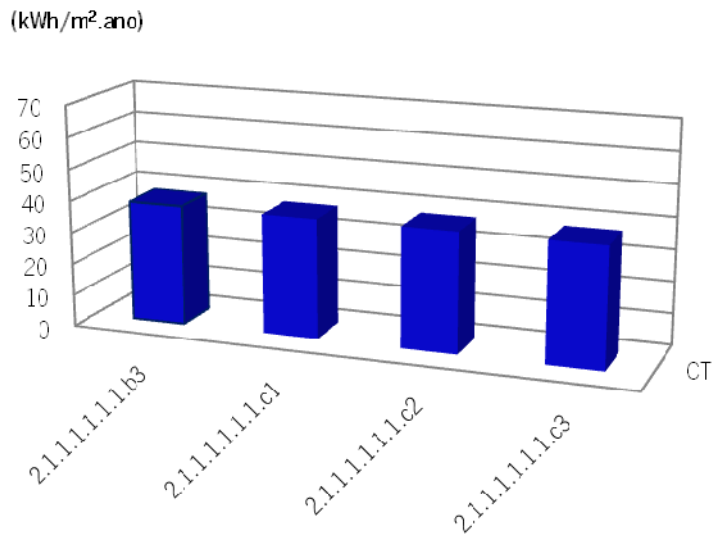


Figura 4.19 – Consumos energéticos anuais alterando a solução construtiva dos envidraçados

Em termos das necessidades globais a alteração da solução construtiva inicial, não se mostra vantajosa, uma vez que a diminuição da energia consumida é de apenas 0,5%, para um envidraçado com dois panos de vidro de 6 mm com uma caixa-de-ar com 20 mm.

Alteração da orientação do edifício

Para verificar a influência de pequenas variações do ângulo que o edifício faz com o Norte (a rotação para Este é positiva), ou seja da orientação do edifício, foram estudadas as hipóteses seguintes:

Hipótese d1: rodar o edifício de 10° em relação ao Norte;

Hipótese d2: rodar o edifício de -10° em relação ao Norte;

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.20, sendo a solução construtiva base a hipótese b3.

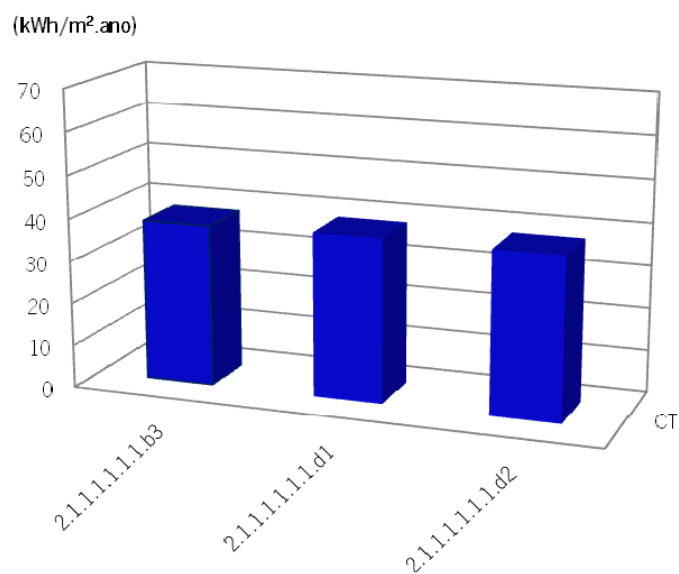


Figura 4.20 – Consumos energéticos anuais em função da orientação da fachada com envidraçados

A rotação do edifício em relação ao Norte, conduz a um aumento nos consumos energéticos, uma vez que de Inverno os ganhos solares são menores e de Verão são superiores, devido à redução da eficiência do sistema de sombreamento fixo, no entanto as alterações não são significativas.

Uma rotação de 10° conduz a um aumento nos consumos energéticos de 2% e uma rotação de -10° a cerca de 1%.

Alteração da geometria do envidraçado

Para avaliar o efeito da alteração da geometria do envidraçado, mantendo a área, na eficiência energética do edifício foi considerada como solução construtiva base é a hipótese b3. As hipóteses relativas à geometria do envidraçado, orientado a Sul, consideradas foram as seguintes:

Hipótese e1: a geometria do envidraçado passa para 8 x 1,5m;

Hipótese e2: a geometria do envidraçado passa para 4,8 x 2,5m;

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.21.

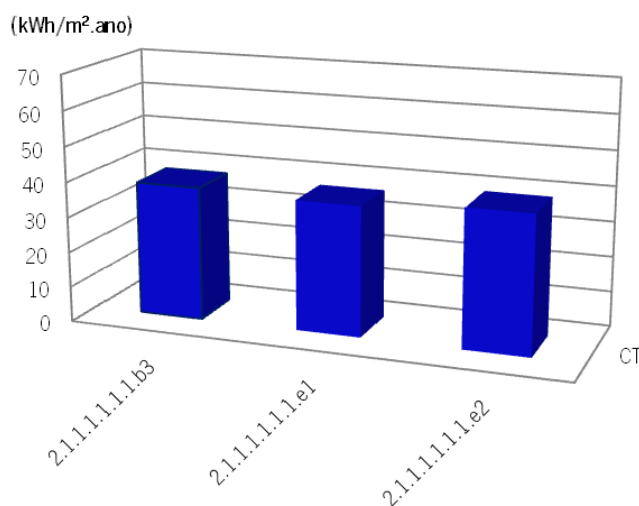


Figura 4.21 – Consumos energéticos de arrefecimento em função das dimensões do envidraçado

Apenas quando se aumenta o comprimento do vão envidraçado (2.1.1.1.1.1.e1), a eficiência energética anual melhora (2,6%), devido ao melhor aproveitamento dos ganhos solares de Inverno, não perdendo no entanto a eficiência do sombreamento no Verão.

Alteração da geometria do sistema de sombreamento fixo

A redução dos consumos energéticos pode ser conseguida através da redução dos ganhos solares, para avaliar a influência, nos consumos energéticos anuais foi avaliada a influência da geometria da pala horizontal, considerando as hipóteses seguintes:

Hipótese f1: aumentando a largura da pala para 0,9 m;

Hipótese f2: aumentando a largura da pala de sombreamento para 1,0 m;

Hipótese f3: diminuindo a largura da pala para 0,7 m;

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.22, tendo por base a hipótese e1.

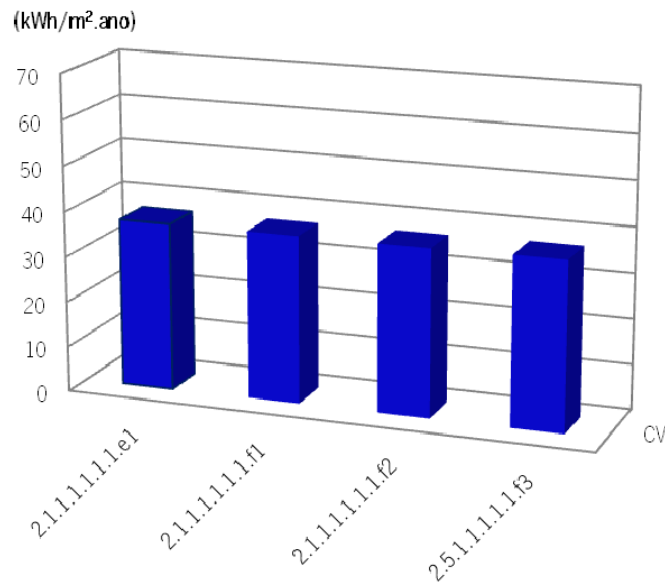


Figura 4.22 – Consumos energéticos anuais em função das dimensões da pala horizontal

O aumento da largura da pala de sombreamento para 0,9 m (2.1.1.1.1.1.f2) é a única hipótese que contribui de forma muito ténue (0,01%) para minimizar o consumo de energia.

Solução final optimizadas as soluções construtivas

Do estudo efectuado verificou-se que é possível aumentar a eficiência energética do edifício anualmente em cerca de 10% (passando de 40,9 kWh/m².ano da hipótese 2.1.1.1.1.1.1, para 37,0 kWh/m².ano, para a hipótese 2.1.1.1.1.1.1.f1), aumentando a espessura de isolamento e da caixa-de-ar da parede exterior e a geometria do envidraçado (8 x 1,5 m²).

4.3.4 Conclusões da Análise de Resultados da Simulação de uma Geometria Simples

Das diversas soluções analisadas, para as paredes exteriores, laje de cobertura, disposição e tipologia dos envidraçados, existência ou não de sombreamento, forma e orientação do edifício, verificando-se que a variação da disposição dos envidraçados, com um peso de cerca de 31%, é a que mais contribui para melhorar ou piorar a eficiência energética do “edifício”.

Através do estudo que integrou as diversas hipóteses construtivas foi possível alcançar um aumento de cerca de 10%, da eficiência relativa entre a solução inicial e a solução optimizada, correspondendo a um decréscimo da factura anual de 3,9 kWh/m².ano.

Através da variação do ficheiro climático, verificou-se que existem diferenças que podem atingir os 69,4 %. Esta situação indica que o projecto de um edifício energeticamente eficiente deve considerar a sua localização geográfica.

Além de verificar a importância relativa dos diferentes parâmetros que afectam o comportamento higrotérmico dos edifícios e para prever de forma adequada o desempenho energético é necessário que o modelo de simulação definido seja fiável, para tal é necessário calibrar o modelo.

O modelo foi calibrado utilizando os dados obtidos nas Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais, CTEñC, para tal foi definido o ficheiro climático e registados os dados relativos às condições higrotérmicas no seu interior (temperatura ambiente, humidade relativa, temperatura superficial).

De seguida apresentam-se os resultados da simulação do comportamento higratérmico das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais, CTEñC.

4.3.5 Simulação do Comportamento Higratérmico das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais

As características, quer geométricas, quer relativas às soluções construtivas das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais, CTEñC, foram descritas no Capítulo 3.

Para a simulação do comportamento higratérmico das Células de Teste CTEñC estas foram divididas em 10 zonas, representadas no Anexo III.

O primeiro passo para a realização da simulação foi a definição da geometria, das soluções construtivas das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais, CTEñC e a introdução dos dados necessários à realização da simulação nos programas EnergyPlus e no Comis Studio.

O programa Comis Studio permite prever o movimento e a massa de ar que circula no interior do edifício, em função das suas características geométricas, dos elementos de ligação entre espaços, tais como portas e janelas, ductos, fissuras ou outros caminhos para a circulação do ar, da direcção e velocidade de incidência do vento e da temperatura no seu interior.

Assim o programa EnergyPlus foi utilizado para prever a temperatura no interior dos espaços, para introduzir no Comis Studio e assim prever o fluxo de ar no interior das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais.

Para a contabilização da acção do vento no edifício em estudo, foi necessário determinar os coeficientes de pressão (cp-values), valores que correspondem à acção do vento em cada fachada (Akins et al, 1979; ASCE, 2005; ASHRAE, 2001; Holmes, 1981; Holmes, 1983; Holmes, 2001; RSA, 1983). Foi então necessário avaliar a direcção do vento para ser possível determinar em qual das fachadas ele possui maior intensidade ao longo de um ano. Do estudo realizado foi possível verificar que a fachada mais solicitada foi a fachada sul, sendo a distribuição relativa da incidência do vento ao longo do ano nas CTEñC apresentada no Anexo III.

Após a definição da estrutura no EnergyPlus e no Comis Studio foi realizada um processo iterativo entre os dois programas, uma vez que as temperaturas introduzidas no Comis Studio afectam os fluxos de ar obtidos e os fluxos de ar afectam as temperaturas determinadas pelo EnergyPlus.

A análise foi realizada para duas semanas, uma para o Inverno e outra para o Verão. Assim, após analisar os resultados obtidos em cada um dos programas, os valores de temperatura máxima e mínima foram introduzidos no Comis Studio para a determinação dos fluxos de ar na semana mais quente e na semana mais fria do ano, respectivamente.

Os valores obtidos no Comis Studio que representam os valores de fluxo de ar foram depois introduzidos no EnergyPlus para a realização da simulação do comportamento higratérmico das CTEñC.

4.3.5.1. Simulação utilizando o programa Comis Studio

Depois de analisado o projecto das CTEñC (plantas e alçados) foi criada a geometria dos espaços no Programa Comis Studio e foram definidos os Nós representativos das zonas que compõem as Células de Teste (Nodes).

Os elementos de ligação entre compartimentos são portas, janelas, fissuras nos elementos construtivos, e no caso específico do contacto entre o Nó 1, zona de estufa (Zona 1), e do Nó 3, compartimento 2 da CTEñC (Zona 3, a Norte), uma zona ventilada que se encontra sobre o Nó 2, compartimento 1 da CTEñC (Zona 2), tal como representado no Anexo III.

A ligação entre os compartimentos e o exterior pode ser efectuada por possíveis fissuras dos elementos construtivos, por portas de circulação ou por janelas.

Com o modelo devidamente representado inicia-se a simulação, definida pelo programa como o comando Run, para a obtenção dos resultados pretendidos.

No Anexo III estão tabelados os valores dos fluxos de ar entre as diversas zonas, que foram introduzidos no EnergyPlus, com indicação de que zona e para que zona e através de que elemento se dá a passagem da massa de ar.

4.3.5.2. Simulação utilizando o programa EnergyPlus

Para simular as CTEñC, após a criação da sua geometria foram atribuídas as soluções construtivas a cada um dos elementos. As características dos materiais já tinham sido previamente definidas e introduzidas no programa e as soluções construtivas sido criadas.

A simulação foi realizada utilizando o ficheiro climático criado para Guimarães usando os dados climáticos registados na estação meteorológica das CTEñC, localizadas no Campus de Azurém da Universidade do Minho.

Depois de correr o programa foi realizada a análise dos resultados do EnergyPlus em três etapas:

- numa primeira situação foram analisados os resultados provenientes dos ensaios in situ e comparados com os valores obtidos na simulação de modo a verificar a necessidade de a calibrar o modelo;
- de seguida foram analisados os resultados da simulação no EnergyPlus considerando a infiltração de ar entre zonas e entre zonas e o exterior com os fluxos de ar calculados usando o Comis Studio, para uma semana de Inverno e para uma semana de Verão;

As zonas analisadas foram as Zonas 2, 3, 5, 6, 8, 9 e 10 assinaladas no Anexo III.

Calibração e Análise dos Resultados

Esta análise foi realizada através da comparação da temperatura ambiente prevista através de simulação com o EnergyPlus com os valores medidos in situ, para as três células de teste (Zonas 2, 3, 5, 6, 8, 9 e 10 referidas), para o mesmo período do ano.

Os períodos definidos para a análise, que correspondem a períodos em que as condições das células se mantiveram inalteradas, foram o período entre 26 e 31 de Março e entre 11 e 16 de Junho.

Os dados climáticos medidos no interior das CTEñC foram comparados com os dados obtidos por simulação, de modo a calibrar o modelo. Foi calculada a diferença mínima, a diferença máxima, a média da diferença, o desvio padrão e a diferença quadrática.

Os resultados obtidos, para a temperatura ambiente, medida e simulada, nos dois períodos usados para a calibração e as diferenças mínima e máxima, o desvio padrão e a diferença quadrática são apresentados no Anexo III.

Uma vez calibrado o modelo, foi realizada a análise do comportamento higrotérmico das CTEñC ao longo do ano, sendo realizada uma análise mais detalhada para as semanas correspondentes ao dia mais frio e o dia mais quente. Os resultados são também apresentados no Anexo III.

De seguida procedeu-se à simulação de dois edifícios tipo, representativos dos edifícios portugueses, sendo avaliadas várias soluções construtivas para as paredes, pavimentos e coberturas.

4.3.6 Simulação do Comportamento Higrotérmico de Soluções Construtivas e dos Edifícios Tipo

Para avaliar a influência das soluções construtivas para o comportamento higrotérmico dos edifícios foram definidas duas habitações, de tipologia T3, representativas dos edifícios portugueses, que foram a base para a simulação realizada.

Os edifícios são constituídos por três quartos, um dos quais com casa de banho privativa, duas casas de banho comuns, um hall de entrada, um corredor, uma sala de estar e jantar, uma cozinha e uma lavandaria. Os edifícios são descritos com mais detalhe no Capítulo 3 e no Anexo III.

No edifício com duas fachadas com envidraçados, Tipo 1, a cozinha, a lavandaria e a sala possuem envidraçados orientados na direcção oposta à dos envidraçados dos quartos. No edifício com envidraçados apenas numa fachada, Tipo 2, estes têm todos a mesma orientação.

As duas habitações têm áreas e volumes idênticos, mas trocas com a envolvente e ganhos solares diferentes devido às suas características.

Numa primeira análise considerou-se que os edifícios eram unifamiliares, constituídos por rés-do-chão, com os quartos orientados a Sul. As soluções construtivas adoptadas, nesta primeira fase, foram as soluções construtivas correntes em Portugal.

Na segunda fase deste estudo considerou-se que as habitações pertenciam a um andar intermédio de edifícios multifamiliares. Foi considerado que os edifícios possuíam um ou mais andares enterrados correspondentes à zona de garagens de modo a se aproximar o mais possível da configuração da generalidade dos edifícios portugueses.

A área de envidraçados, tal como referido anteriormente, foi definida em função da área de pavimento, sendo de cerca de 15% da área deste, de acordo com o definido no RCCTE (RCCTE, 2006), sendo esta percentagem mantida independentemente da orientação, na situação inicial, sendo posteriormente ajustada em função da orientação e do tipo de compartimento, tendo em consideração as exigências de obtenção de ganhos solares, de iluminação e de ventilação.

A avaliação do comportamento energético dos edifícios em função da orientação foi realizada para as seguintes orientações:

- Norte/Sul (quartos estão orientados a Sul);
- Este/Oeste (rotação de 90°);
- Noroeste/Sudeste (rotação de 45°); e
- Nordeste/Sudoeste (rotação de - 45°).

Edifícios Unifamiliares

Para a análise das habitações tipo como sendo edifícios unifamiliares considerou-se que os quartos estavam orientados a Sul.

As paredes exteriores da Habitação Tipo 1 consideradas eram duplas, sendo o pano exterior em betão armado e o interior de tijolo cerâmico furado com 15 cm de espessura, com 6 cm de poliestireno extrudido expandido colocado na caixa-de-ar. A cobertura era do tipo invertida, constituída por uma laje aligeirada de abobadilha cerâmica com 20 cm de espessura e 4 cm de poliestireno expandido extrudido. Os envidraçados possuíam vidro duplo e caixilharia em madeira.

A Habitação Tipo 2 possuía uma fachada ventilada, de blocos de betão com 20 cm de espessura, caixa-de-ar com 10 cm de poliestireno extrudido expandido e madeira com 5 cm de espessura como acabamento exterior. A cobertura considerada foi do tipo inclinada, com revestimento em telha cerâmica de barro vermelho, espaço de ar pouco ventilado e laje de esteira alveolar com 20 cm de espessura, com 4 cm de poliestireno expandido extrudido. O envidraçado considerado foi do tipo simples e a caixilharia de madeira.

As soluções construtivas são descritas em detalhe no Anexo III.

Em ambas as habitações considerou-se que a ocupação média era de 4 pessoas, variando a ocupação em função do tipo de compartimento, do dia da semana e da função deste.

De seguida apresentam-se, de forma sucinta, os resultados obtidos para a cozinha e para um quarto (Quarto 3), locais com maior período de ocupação e maiores cargas internas, nos dias 3 de Janeiro e 14 de Agosto, respectivamente, o dia mais frio e o dia mais quente para a Cidade de Guimarães.

Habitação Tipo 1

Na Figura 4.23 apresentam-se os resultados obtidos através de simulação usando o EnergyPlus para a temperatura ambiente na Habitação Tipo 1, no dia 3 de Janeiro e no dia 14 de Agosto.

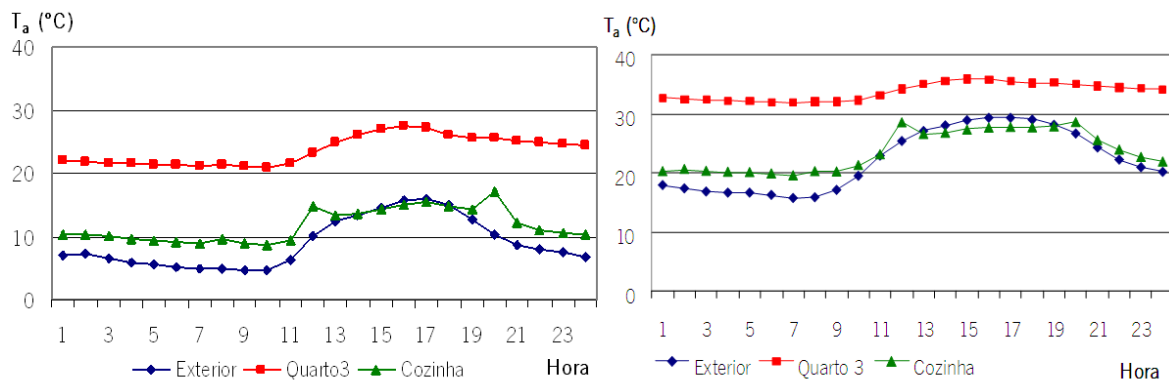


Figura 4.23 – Temperatura e humidade relativa no dia 3 de Janeiro (esquerda) e no dia 14 de Agosto (direita), na cozinha, no Quarto 3 da Habitação Tipo 1 e no exterior

Na Figura 4.23 é visível o efeito dos ganhos solares para as condições térmicas no interior do edifício. No Quarto, com ganhos térmicos a temperatura ambiente era sempre superior à temperatura exterior.

A capacidade de armazenamento térmico e a qualidade da envolvente é também visível, uma vez que a temperatura ambiente no quarto não apresenta grandes oscilações e era sempre superior à temperatura de referência para o Inverno.

No Verão no entanto as temperaturas registadas eram superiores à temperatura de conforto. Esta situação pode ser optimizada através da utilização da ventilação nocturna para arrefecer a massa de armazenamento térmico e um sistema de sombreamento, de modo a reduzir os ganhos solares de Verão, sem no entanto os reduzir de Inverno.

Na cozinha, tanto de Inverno como de Verão, as temperaturas eram próximas às observadas no exterior, cerca de 3°C a 5°C acima. O efeito das cargas internas associadas à confecção das refeições é também visível, através dos picos na temperatura ambiente cerca das 12h e das 20h, observados na Figura 4.23.

Habitação Tipo 2

Os resultados obtidos através de simulação usando o EnergyPlus para a temperatura ambiente no dia 3 de Janeiro e no dia 14 de Agosto da Habitação Tipo 2 são representados na Figura 4.24.

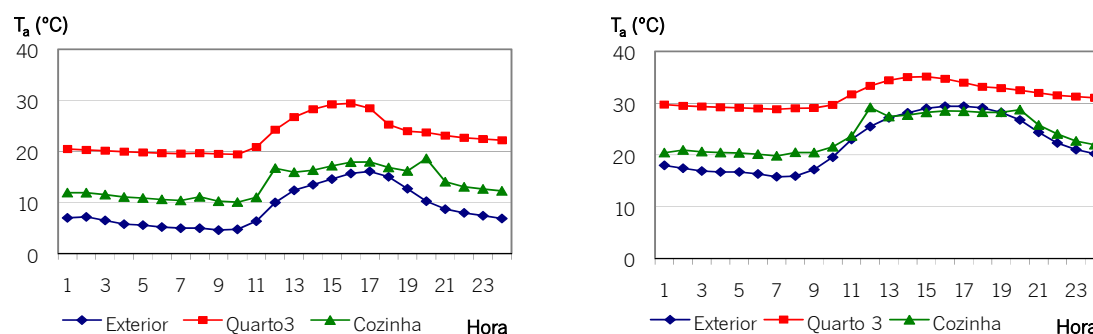


Figura 4.24 – Temperatura e humidade relativa no dia 3 de Janeiro (esquerda) e no dia 14 de Agosto (direita), na cozinha, no Quarto 3 da Habitação Tipo 2 e no exterior

Na Figura 4.24 é visível o efeito dos ganhos solares para as condições térmicas no interior da Habitação Tipo 2. No Quarto, com ganhos térmicos a temperatura ambiente era sempre superior à temperatura exterior, aumentando mais rapidamente quando a radiação solar incidia no seu interior.

Tal como na da Habitação Tipo 1 a capacidade de armazenamento térmico e a qualidade da envolvente é também visível, uma vez que a temperatura ambiente no quarto não apresentava grandes oscilações e era sempre superior à temperatura de referência para o Inverno.

No Verão no entanto as temperaturas registadas eram superiores à temperatura de conforto. Esta situação pode ser optimizada através da utilização da ventilação nocturna para arrefecer a massa de armazenamento térmico e um sistema de sombreamento, de modo a reduzir os ganhos solares de Verão, sem no entanto os reduzir de Inverno.

Na cozinha, tanto de Inverno como de Verão, as temperaturas eram próximas às observadas no exterior, cerca de 3°C a 5°C acima. O efeito das cargas internas associadas à confecção das refeições é também visível, através dos picos na temperatura ambiente cerca das 12h e das 20h, observados na Figura 4.24.

Na cozinha da Habitação Tipo 2 a temperatura ambiente de Inverno era superior à da cozinha da Habitação Tipo 1, uma vez que neste caso existem ganhos solares, uma vez que todos os compartimentos principais estão orientados a Sul.

Edifícios Multifamiliares

Considerando que as Habitações Tipo 1 e 2 estão localizadas num andar intermédio de edifícios multifamiliares foi realizada uma análise mais detalhada dos factores que devem ser considerados no projecto de edifícios, incluindo entre outros:

- soluções construtivas das paredes, pavimentos e coberturas;
- área de envidraçados, sua orientação, tipo e sistema de sombreamento;
- isolamento térmico, tipo, espessura e localização;
- forma de ventilação.

Algumas das soluções construtivas estudadas estão representadas na Figura 4.25 e são descritas no Capítulo 3, para os diferentes tipos de elementos da envolvente. As soluções construtivas seleccionadas, paredes simples e duplas (blocos de betão, tijolo cerâmico furado, tijolo maciço, betão armado, gesso cartonado), pavimento e cobertura (betão armado, alveolar e aligeirada de vigotas pré-esforçadas, com abobadilhas cerâmicas ou de betão), cobrem uma vasta variedade de soluções.

O estudo foi realizado em primeiro lugar considerando:

- materiais de isolamento térmico (poliestireno expandido extrudado, XPS e lã mineral, MW);
- várias espessuras do isolamento térmico (0, 2, 4, 6, 8 e 10 cm);
- diferentes localizações do isolamento térmico (pelo exterior, na caixa-de-ar, no interior);
- envidraçados com estores venezianos ajustáveis no exterior, de modo a controlar os ganhos solares e a iluminação natural;
- as instalações sanitárias são ventiladas mecanicamente;
- uma renovação de ar por hora.

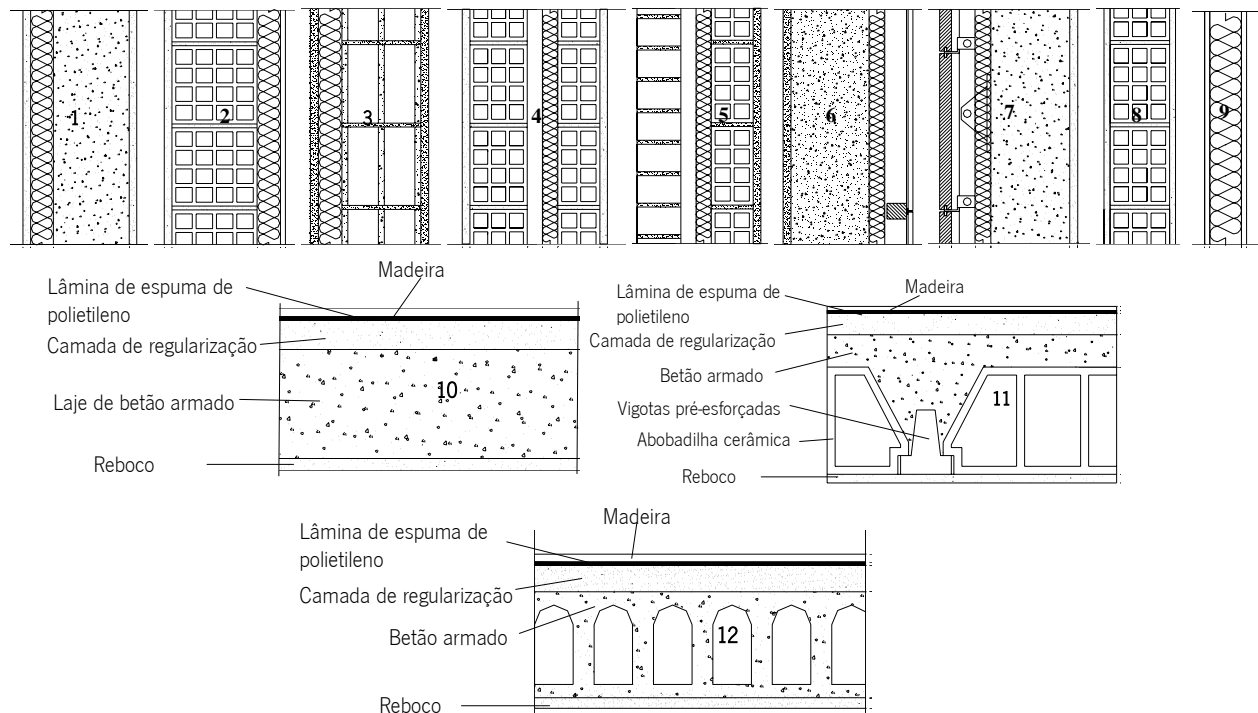


Figura 4.25 - Corte esquemático de algumas das soluções construtivas consideradas para os elementos construtivos (exteriores, interiores e divisórias)

Na primeira fase os envidraçados com 1 m de altura, tinham uma área correspondente a 15% da área do pavimento (cerca de 30% da área da parede), de modo a maximizar a utilização dos ganhos solares e a iluminação natural. A área de envidraçados considerada na fase inicial foi a definida na Tabela 4.1

Tabela 4.1 - Área de envidraçados das Habitações Tipo

Compartimento	Cozinha	Sala comum	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3
Área (m ²)	3,36	5,15	2,75	2,20	2,75

Na segunda fase a área de envidraçados foi duplicada, sendo de 30% da área de pavimento e 60% da área de parede (envidraçados com 2 m de altura).

Em geral os edifícios residenciais portugueses não são climatizados e quando o são, são-no em geral apenas na estação de aquecimento, e durante os períodos de ocupação. Assim, as necessidades energéticas foram calculadas usando o sistema “purchased air” definido no EnergyPlus, sendo o sistema de controlo definido para manter a temperatura ambiente entre os 20° C e os 25°C, de acordo com o definido no RCCTE, para o período de ocupação.

O período de ocupação definido foi entre as 19 h e as 8h, sendo o período de não ocupação o restante (8 às 19).

Para verificar as condições de conforto no interior do edifício foi calculado o número de horas em que os ocupantes se encontravam desconfortáveis usando o EnergyPlus, tendo por base o gráfico da secção 5.2.11 da ASHRAE 55 (ASHRAE 55, 2004).

De acordo com o Censos de 2001, cerca de metade dos edifícios portugueses são constituídos por paredes de alvenaria e cerca de 31% de betão armado, sendo cerca de 60% rebocadas (INE, 2001).

Os edifícios portugueses tipicamente possuem paredes exteriores duplas de blocos cerâmicos furados (15 cm + 11 cm), com 4 cm de poliestireno expandido ou poliestireno expandido extrudido colocado na caixa-de-ar (solução 4 na Figura 4.25), envidraçados com caixilharia metálica e vidro duplo.

Nas primeiras simulações foi estudada a influência das soluções construtivas das paredes de fachada.

No Anexo III apresentam-se os resultados obtidos das diferentes análises efectuadas, considerando a influência do tipo de solução construtiva da parede, do tipo e nível de isolamento, da área de envidraçados.

Os resultados relativos aos consumos energéticos da Habitação Tipo 1 com paredes exteriores simples de betão armado com 15 cm e paredes simples de tijolo cerâmico furado com 22 cm e diferentes espessuras de poliestireno expandido extrudido colocado no exterior ou no interior, com envidraçados duplos com vidro incolor, com 1m (15% da área de pavimento), permitiram verificar que as diferenças associadas ao tipo de revestimento interior (reboco ou estuque) não são significativas (inferiores a 3%).

A colocação do isolamento pelo interior das paredes (uma vez que a inércia térmica se mantém forte) não é significativa anualmente, mas de verão os consumos energéticos aumentam cerca de 5%.

Avaliando a influência do tipo de isolamento, para diferentes tipos de paredes exteriores duplas, verificou-se que as diferenças são inferiores a 2% na estação de aquecimento e anualmente e a 1% na estação de arrefecimento.

Para as mesmas situações, se os envidraçados tiverem 2 m de altura, correspondendo a 30% da área de pavimento, com vidro corrente, ou com vidros de baixa emissividade, as diferenças associadas à variação de solução construtivas, tipo de revestimento ou localização do material de isolamento, também não são significativas, inferiores a 5%.

As diferenças observadas são superiores para paredes sem isolamento.

As diferenças nos consumos energéticos anuais se as paredes interiores forem leves (duplas de gesso cartonado) em vez de simples de tijolo cerâmico furado eram inferiores a 1%, uma vez que a tipologia das lajes e das paredes exteriores foi mantida e estas asseguravam a inércia térmica do edifício.

Os consumos energéticos de arrefecimento eram semelhantes, no entanto os consumos energéticos de arrefecimento eram cerca de 2% superiores se as paredes divisórias forem leves, uma vez que de Inverno

havia menos massa para aquecer, mas de Verão a capacidade de armazenamento térmico foi reduzida ligeiramente.

Ao aumentar a área de envidraçados os ganhos solares aumentam, mas as perdas de calor através deles também, assim foi estudado o comportamento térmico da Habitação Tipo com envidraçados com 2 m de altura e vidros com baixa emissividade.

Comparando o desempenho energético da Habitação Tipo 1 com paredes duplas de tijolo cerâmico 15 cm + 11 cm, com envidraçados com vidro duplo corrente, com 1 m e 2 m de altura e com vidro duplo de baixa emissividade com 2 m de altura, verificou-se que duplicando as dimensões dos envidraçados, devido ao aumento dos ganhos solares, os consumos de energia para aquecimento eram mais de 25% menores, no entanto, os consumos energéticos de arrefecimento são mais de 40% superiores, o que anualmente conduziu a reduções nos consumos energéticos inferiores a 8%, para baixos níveis de isolamento, existindo mesmo um aumento nos consumos energéticos se existirem 10 cm de isolamento.

Se os envidraçados, com 2 m de altura, fossem de baixa emissividade verificou-se que os consumos energéticos de arrefecimento eram reduzidos em mais de 25%, de verão os consumos energéticos aumentaram cerca de 50%, o que anualmente conduziu a reduções dos consumos energéticos inferiores a 10%.

Comparando o desempenho da habitação com envidraçados com 2 m de altura, de vidro corrente e de baixa emissividade, verificou-se que os consumos energéticos aumentavam cerca de 3 % durante o Inverno, de Verão eram reduzidos em mais de 10%, sendo a redução anual superior a 3%.

Os consumos energéticos em função do tipo de envidraçado, para paredes duplas de tijolo cerâmico furado 15 cm + 11 cm, com 6 cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar de 10 cm, rebocada no exterior e estucada no interior são apresentados na Figura 4.26.

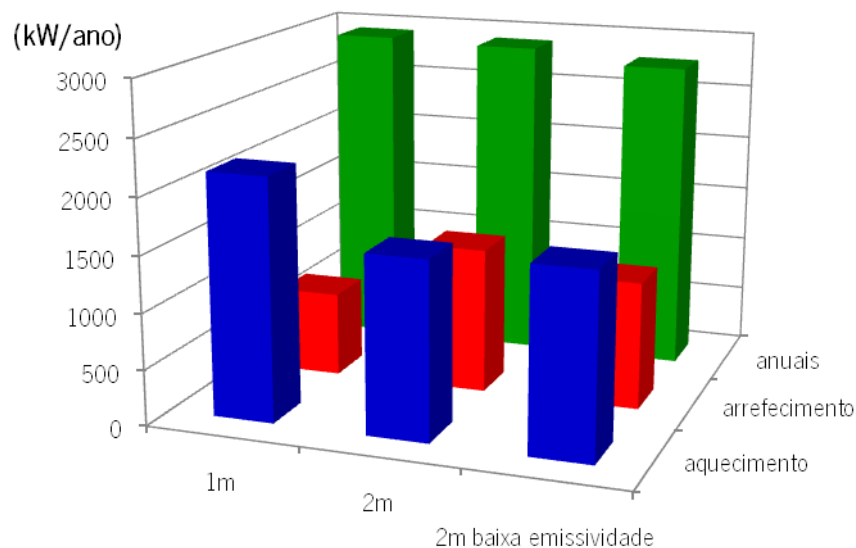


Figura 4.26 – Consumos energéticos anuais alterando a espessura da caixa-de-ar e do isolamento térmico da parede exterior

Na Figura 4.27 representam-se as temperaturas ambiente interior e exterior, para a Habitação Tipo 1, não climatizado, localizado no Porto, no dia mais frio (21 de Fevereiro) e no dia mais quente (3 de Junho) do ano.

Nesta avaliação o edifício não possuía sistema de climatização, as paredes interiores eram paredes duplas com tijolo cerâmico furado de 11 cm, 4 cm de lã mineral preenchendo parcialmente a caixa-de-ar e tijolo cerâmico furado de 11 cm, rebocado em ambas as faces, as paredes divisórias eram paredes simples de tijolo cerâmico de 11 cm, rebocadas em ambas as faces, as lajes de pavimento e de tecto eram lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos com 26 cm, camada de regularização com 4 cm, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm e revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na face inferior, os envidraçados, com 1 m de altura (15% da área de pavimento e 30% da área da parede), eram de vidro duplo incolor + incolor (8 + 10 + 6) mm, instalados em caixilharia metálica, com estores venezianos no exterior e palas horizontais na fachada Sul

Este tipo de edifício, sem sistema de climatização tal como é comum nos edifícios portugueses, não possui condições de conforto térmico, uma vez que as temperaturas no seu interior estão fora do intervalo de conforto (20°C a 25°C) durante períodos longos, em especial durante o Inverno.

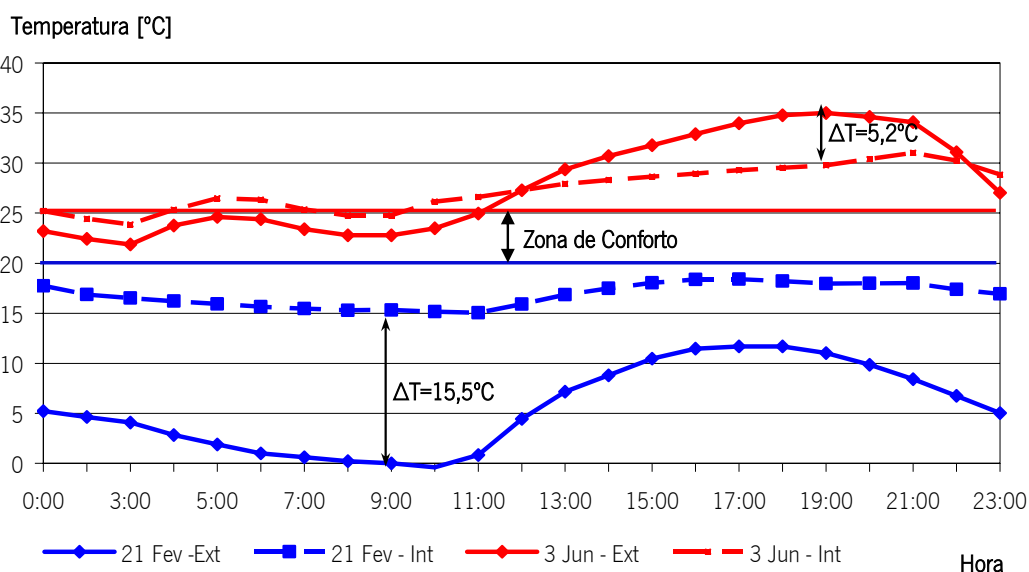


Figura 4.27 – Temperatura ambiente interior e exterior para a Habitação Tipo 1, sem sistema de climatização, para o dia mais quente e para o dia mais frio do ano

Nestas condições, de acordo com a Norma ASHRAE 55 os ocupantes estariam desconfortáveis em 60% do período de ocupação (ASHRAE 55, 2004).

É então necessário instalar um sistema mecânico de modo a assegurar as condições de conforto durante o período de ocupação. Os consumos energéticos eram de aproximadamente 3016,6 kW/ano (75% dos quais ocorrem durante o Inverno). Nestas condições o número de horas desconfortáveis era reduzido para 40% do período de ocupação.

Na Figura 4.28 apresentam-se os consumos energéticos e o período de conforto, na Habitação Tipo 1, para dois tipos de soluções construtivas (paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm e paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado com 22 cm de espessura), com diferentes espessuras de poliestireno expandido extrudido no exterior, soluções que começam a ser implementadas mais recentemente. Os envidraçados foram definidos com 15% da área de pavimento (30% da área de parede).

As condições de conforto não eram atingidas em todo o período devido à temperatura superficial dos elementos da envolvente, em especial dos envidraçados. É então necessário otimizar as características do edifício.

Tal como mostra a Figura 4.28 a parede de betão armado apresentava pior comportamento de inverno do que a parede de tijolo cerâmico furado, devido à sua condutibilidade térmica mais elevada, mas de verão apresentava melhor comportamento térmico devido à sua maior capacidade de armazenamento térmico.

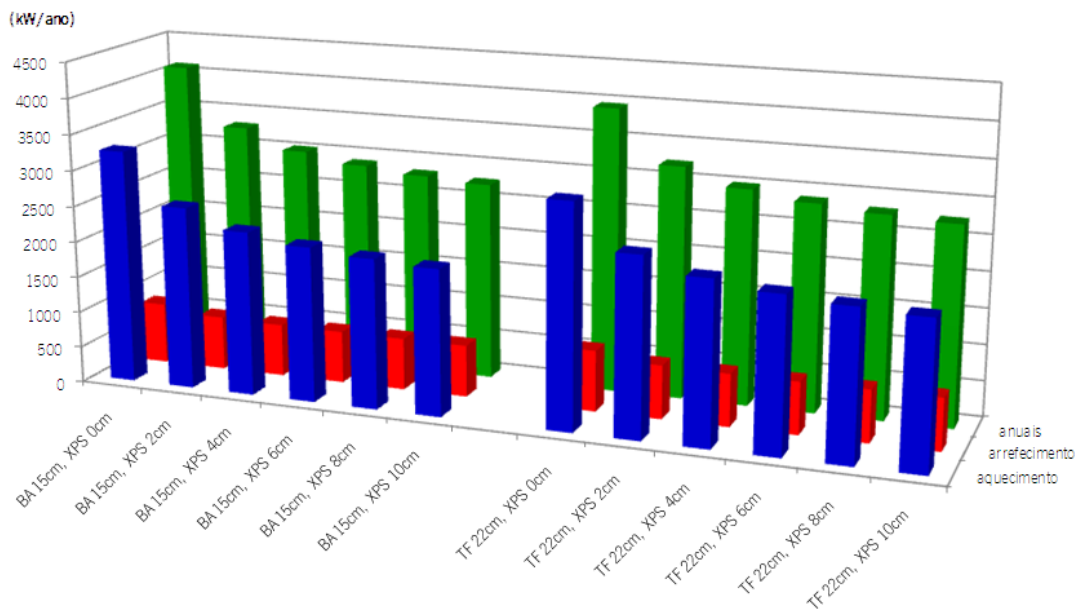


Figura 4.28 – Consumos energéticos e condições de conforto da Habitação Tipo 1

Se as paredes exteriores não forem isoladas, de acordo com a ASHRAE 55, só em 36% (parede de betão armado) ou em 38% (parede de tijolo cerâmico furado) do período de ocupação existem condições de conforto, devido à assimetria de radiação devida à temperatura superficial ser reduzida, em especial a dos envidraçados (Anexo III). Aumentando a espessura de isolamento o número de horas confortáveis aumenta 10%.

O mesmo acontece aumentando a área de envidraçados (passando a sua altura de 1 m para 2 m, o que corresponde a 30% da área de pavimento e 60% da área de parede), aumentando assim os ganhos solares. Neste caso, o edifício, com qualquer um do tipo de paredes, apresentava um comportamento térmico semelhante, melhor durante a estação de aquecimento do que se os envidraçados tiverem 1 m de altura, uma vez que os ganhos solares eram superiores, mas, pelo mesmo, motivo eram piores de Verão.

Por exemplo consumos energéticos de aquecimento do edifício com paredes simples com blocos de betão e 4 cm de poliestireno expandido extrudado eram reduzidos em quase 30%, no entanto os consumos energéticos de arrefecimento aumentavam em 43%, resultando em apenas 3% de redução nos consumos energéticos anualmente.

O mesmo tipo de estudo foi realizado considerando a localização do material de isolamento (no exterior, na caixa-de-ar ou no interior) e verificou-se que os consumos energéticos de aquecimento e arrefecimento eram similares, sendo mais significativos para maior capacidade de isolamento térmico e nível de isolamento térmico na estação de arrefecimento (5%), devido ao efeito da sua localização na inércia térmica.

Substituindo os envidraçados correntes por envidraçados de baixa emissividade, com 2 m de altura, os ganhos solares aumentavam e as perdas térmicas através dos envidraçados diminuía. Nesta situação a parede de betão armado com 15 cm de espessura e 6 cm de poliestireno expandido extrudado no exterior era a solução com melhor comportamento térmico, apresentando melhor desempenho do que o mesmo

edifício, mas com paredes exteriores simples de blocos de tijolo cerâmico furado com 10 cm de poliestireno expandido extrudido, ocupando também menos espaço.

A redução dos consumos energéticos de aquecimento foi de cerca de 24%, mas os consumos energéticos de arrefecimento aumentaram 37%, diminuindo os consumos energéticos globais 4%. O aumento nos consumos energéticos de arrefecimento foi devido ao aumento da área de envidraçados, podendo ser minimizada através da melhoria do sistema de sombreamento ou usando vidro reflectante, o que iria por seu lado reduzir os ganhos solares durante o Inverno.

Outra forma possível para reduzir as perdas era reduzir a área dos envidraçados a Norte, no entanto nesta situação as condições de iluminação natural serão penalizadas.

Assim é necessário seleccionar de forma criteriosa a área e características dos envidraçados, bem como dos sistemas de sombreamento, de modo a maximizar os ganhos solares de Inverno e minimizá-los durante o Verão. Os sistemas de sombreamento devem ser móveis, de forma a facilitar a sua utilização, adaptando-as às condições do dia e do ano.

O mesmo estudo foi realizado para o edifício com paredes duplas com diferentes tipos de materiais de isolamento. Nesta análise foi possível verificar que as diferenças nos consumos energéticos devido ao tipo de isolamento, colocado na caixa-de-ar, eram pouco significativas (2%). As diferenças nos consumos energéticos para os diferentes tipos de paredes (blocos de betão, tijolo cerâmico furado ou maciço) eram também pequenas, cerca de 3%, sendo menores para paredes com maior espessura de isolamento.

O aumento de espessura do material de isolamento térmico permitia reduzir os consumos energéticos em mais de 33%, por exemplo, comparando uma parede simples de betão sem isolamento com uma com 10 cm de poliestireno expandido extrudido e em apenas 5% aumentando a espessura do mesmo material de 4 para 6 cm.

Reduzindo a taxa de ventilação de 1,0 para 0,6 renovações de ar por hora (valor mínimo de acordo com o RCCTE) os consumos energéticos eram reduzidos para cerca de 1/4, para um edifício com 10 cm de isolamento nas paredes exteriores e envidraçados com baixa emissividade. Nesta situação não havia necessidade de climatizar o edifício durante a estação de aquecimento, tal como mostra a Figura 4.29, estando os ocupantes numa situação de conforto térmico em mais de 80% do período de ocupação.

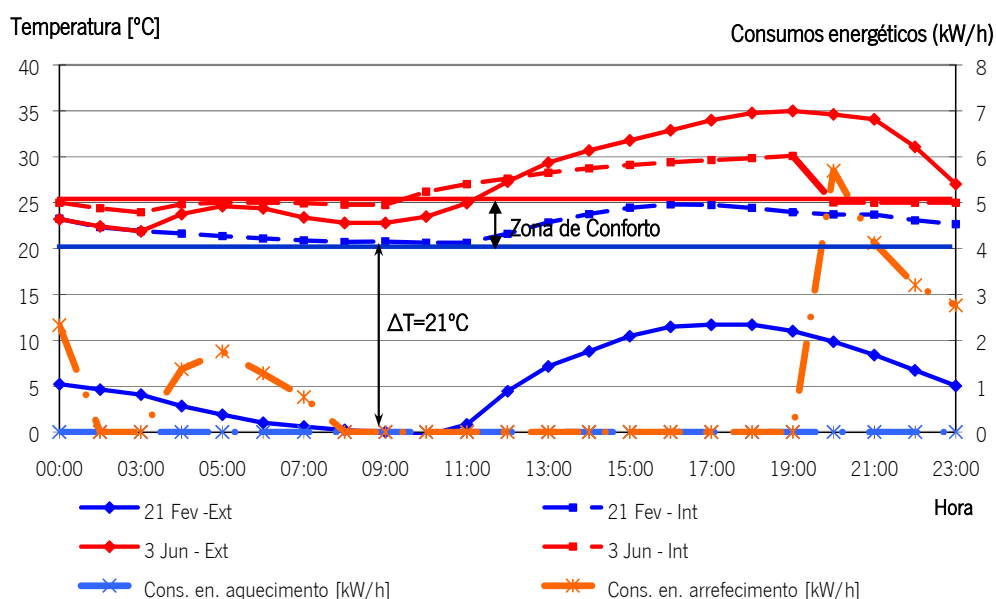


Figura 4.29 – Temperatura ambiente interior e exterior para a Habitação Tipo 1, otimizada, com sistema de climatização, para o dia mais quente e para o dia mais frio do ano

Para otimizar o comportamento térmico do edifício no verão pode ser utilizada a ventilação noturna, utilizando o ar exterior, com uma temperatura mais baixa, para arrefecer a massa de armazenamento térmico e assim reduzir a temperatura no seu interior. A ventilação noturna da habitação, aproveitando a potencialidade de ventilação cruzada do edifício permite reduzir os consumos energéticos em cerca de 17%, para a situação inicial e, 12%, na situação otimizada, durante a estação de arrefecimento. A potencialidade de redução é maior para a pior solução, uma vez que nessa situação as temperaturas, ambiente e superficial são superiores às da situação otimizada.

A análise efectuada permitiu também verificar que os consumos energéticos de uma habitação semelhante, mas localizada no último piso, ou seja com perdas através da cobertura, eram cerca de 15% (solução inicial) a 5% (solução otimizada) superiores, em função da solução construtiva e do nível de isolamento térmico da cobertura.

Em relação a uma habitação idêntica, mas localizada sobre uma zona de garagem, as diferenças entre os consumos energéticos variavam entre 10% e cerca de 5%, para as mesmas situações.

As diferenças observadas para edifícios idênticos, mas localizados no centro edifício, ou lateralmente, ou seja com mais uma parede exterior, foram de 12% para a situação inicial e de 3% para a situação otimizada.

Em relação à tipologia dos edifícios verificou-se que se o edifício com uma frente estivesse orientado a Sul apresentava melhor comportamento de Inverno, uma vez que os ganhos solares são superiores, e as perdas térmicas são semelhantes (uma vez que a diferença relativamente à área de paredes exteriores é de 9%), apresentando pior comportamento de Verão, pelas mesmas razões. Na solução otimizada o apartamento com uma frente apresentava também pior comportamento de Verão porque não existe a potencialidade de ventilação cruzada para a ventilação noturna.

As diferenças nos consumos energéticos anuais eram no entanto pequenas, inferiores a 5%.

Se o edifício com uma frente estiver orientado a Norte apresenta pior comportamento na estação de aquecimento, pois não existem ganhos solares, mas, pelo mesmo motivo apresenta melhor comportamento durante a estação de arrefecimento. Anualmente as diferenças nos consumos energéticos são de cerca de 10%.

Se o apartamento tipo 2 estiver orientado a Este ou a Oeste apresenta pior comportamento tanto de Inverno como de Verão, uma vez que na estação de aquecimento não existem ganhos solares, mas de Verão existem ganhos solares perniciosos, em especial se estiver orientado a Oeste. Anualmente as diferenças nos consumos energéticos são de 17%.

4.4 Simulação da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios

A previsão da Avaliação da Qualidade do Ar Interior de edifícios não industriais pode ser obtida considerando o número de ocupantes do espaço, o tipo de actividades, a taxa de renovação de ar e o tipo de ambiente associado ao tipo de materiais existentes (poluentes ou pouco poluentes).

As fontes de poluição do ar interior dos edifícios são os ocupantes e as actividades desenvolvidas por estes, incluindo fumo do tabaco, se os ocupantes fumarem no seu interior. Além destas fontes, os materiais do edifício, incluindo mobiliário, tapetes, produtos de limpeza e o sistema de ar condicionado, também podem contribuir para a poluição do ar interior.

Pelo metabolismo humano são libertados gases como dióxido de carbono, CO₂, vapor de água, aldeídos, esteréis, álcoois.

A emissão de CO₂ é proporcional à actividade metabólica pelo que pode ser utilizada como medida da concentração dos bioefluentes humanos. A determinação da produção de dióxido de carbono pode ser estimada pela Equação (4.1).

$$G = 4 \times 10^{-5} M.A \quad \text{Equação (4.1)}$$

Onde:

- G - emissão de CO₂ (l/s);
- M - metabolismo (W/m²);
- A - superfície do corpo (m²).

Para um adulto em actividade sedentária (M = 70 W/m², A=1,8 m²) a emissão de CO₂ pela respiração é de aproximadamente 0,005 l/s, cerca de 4,4% do volume do ar expirado, face aos típicos 0,04% do ar

O fumo do tabaco é responsável pela emissão de mais de 5000 substâncias químicas, com dimensão típica compreendida entre 0,01 e 1 µm, que podem provocar irritação das membranas mucosas e olhos, alergias ou cancro do pulmão. Para um fumador, deve ser provido um caudal adicional de ar fresco de cerca de 7 l/s, admitindo um consumo de 1,3 cigarros por hora. Dada a grande importância que o fumo do tabaco tem como fonte poluente, é importante estimar a percentagem de fumadores na fase de definição do projecto.

O monóxido de carbono, CO, é produzido pela combustão incompleta em fogões, tabaco, automóveis. O CO é um gás sem odor, cor e paladar, mas altamente tóxico. A sua concentração deve ser mantida abaixo de 10 ppm para exposição em contínuo (8 h) não devendo ter valores instantâneos superiores a 200 ppm.

O CO₂ raramente atinge níveis excessivos no ambiente interior, contudo pode ser usado como uma medida da percepção da qualidade do ar, quando a principal fonte de poluição são os bioefluentes humanos.

De acordo com o estudo de Fanger realizado em 15 edifícios de escritórios em Copenhaga (Fanger, 1988):

- 20% da carga sensorial do ar é produzida pelos materiais
- 42% pode ser produzida pelos sistemas de ventilação
- 25% pelo fumo do tabaco
- 13% pelos ocupantes

Assim, a concentração de CO₂ é um bom indicador da poluição causada pelos ocupantes, contudo, pode ser um fraco indicador da percepção da qualidade do ar, pois não tem em conta as diversas fontes de poluição que não produzem CO₂ e os poluentes que não são perceptíveis pelos ocupantes, como o CO e o radão.

A percepção da qualidade do ar interior depende do odor e das propriedades irritantes do ar.

Na sequência do trabalho de Fanger, e por analogia com os índices de conforto térmico, para expressar a percepção da qualidade do ar, é utilizada a percentagem previsível de pessoas que se manifestam descontentes (PPD) com a percepção que têm da qualidade do ar após entrarem na sala. Pois as concentrações dos diversos poluentes interiores podem ser substancialmente inferiores aos valores máximos admissíveis, e por vezes são inferiores aos limites de detecção dos aparelhos de medição, e

mesmo assim haver manifestação de percepção da qualidade do ar insatisfatória. Além disso, a percepção da qualidade do ar sentida pelos ocupantes corresponde à sensação inicial da pessoa quando entra no espaço, pois apesar de existir alguma adaptação dos ocupantes aos bioefluentes durante a ocupação do espaço, essa adaptação ao fumo do tabaco e a diversos poluentes libertados pelos materiais do edifício é reduzida ou mesmo nula.

A unidade que quantifica a intensidade de uma fonte de poluição olfativa é o olf (do latim olfactus que significa cheirar), que representa a poluição produzida por um indivíduo adulto, com uma taxa de metabolismo de 1,2 met (58,2 W/m²), num ambiente não industrial, realizando uma actividade sedentária e sob condições de higiene (0,7 banhos por dia) e conforto.

O decipol (dp) é a unidade que traduz a percepção do odor por um ocupante do edifício, medindo indirectamente a qualidade do ar interior através da concentração de monóxido de carbono e a quantidade do ar fresco fornecido, em que 1 dp, é a qualidade do ar perceptível num espaço com uma carga sensorial de 1 olf, ventilada por 10 l/s de ar limpo, 1 dp = 0,1 olf/(l/s).

Assim, o decipol representa a qualidade do ar percebida num ambiente confinado ventilado a uma taxa de 10 l/s e com uma carga poluente de 1 olf (uma pessoa padrão).

Assim, a carga sensorial é caracterizada pela unidade olf, que integra o efeito combinado das centenas de poluentes libertados como são sentidos pelo homem.

Quanto maior o número de decipol, mais poluído é o ar. Valores indicativos da qualidade do ar são apresentados na Tabela 4.2 (Fanger, 1988).

Tabela 4.2 - Valores indicativos da qualidade do ar (Fanger, 1988)

Local	Ar
Numa montanha ou no mar	0,01 decipol
Fora das cidades	0,1 decipol
Numa cidade com poluição moderada	0,03 a 0,05 decipol
Num edifício saudável	1,0 decipol
Qualidade do ar aceitável	1,4
Edifício "doente"	10,0
Fumo de tabaco	14,4

Em edifícios de escritório, pode considerar-se o índice de qualidade olfactiva, modelo de Fanger para avaliar a qualidade do ar interior (Fanger, 1988). Foi esta a metodologia considerada para prever a qualidade do ar no interior dos edifícios de habitação.

Para uma atmosfera poluída pela ocupação humana, a percentagem de ocupantes descontentes com a qualidade do ar pode ser prevista pela Equação (4.2) (Figura 4.30), função da taxa de ventilação para uma pessoa padrão.

A pessoa padrão corresponde, em média, a um trabalhador de escritório adulto, sedentário e em situação de conforto térmico.

O Comité Europeu de Normalização (CEN) estabeleceu três níveis de qualidade do ar que reflectem sucessivamente 15%, 20% e 30% de insatisfação, correspondendo a graus de exigência de qualidade do ar progressivamente menores.

Na Figura 4.30 (l/s), na Tabela 4.3 e na Figura 4.31 (m³/h) são caracterizados esses níveis (CEN CR 1752, 1998).

$$PPD = 395 \times e^{-1,83 \times q^{0,25}} \quad \text{para } q \geq 0,32 \text{ l/s/olf}$$

$$PPD = 100\% \quad \text{para } q \leq 0,32 \text{ l/s/olf}$$

Equação (4.2)

Onde:

PPD - percentagem previsível de ocupantes descontentes com a qualidade do ar;

q - caudal de ventilação por unidade de carga poluente sensorial;

1 olf - é definido como a poluição gerada por uma pessoa padrão.

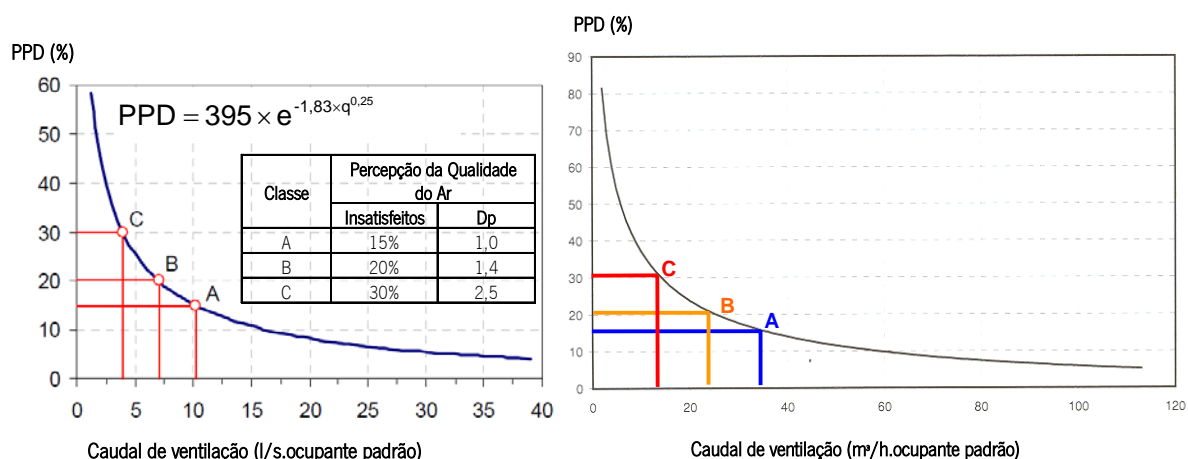


Figura 4.30 - Percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar em função da taxa de ventilação (em l/s.pessoa padrão e m³/h.pessoa padrão) (CEN CR 1752, 1998)

Tabela 4.3 - Níveis de Qualidade do Ar (CEN CR 1752, 1998)

Classe	Percepção da qualidade do ar (insatisfação)	Caudal de ventilação [m³/h.pessoa padrão]	Caudal de ventilação [l/s.pessoa padrão]
A	15%	36	10
B	20%	25,2	7
C	30%	14,4	4

Tendo em conta a resposta sensorial dos ocupantes à qualidade do ar, a intensidade das fontes de poluição (sob o ponto de vista sensorial da qualidade do ar) pode ser expressa como o número de pessoas equivalente, ou seja o número de pessoas standard (olf), requerido para criar uma atmosfera cuja percentagem de descontentes seja igual à da fonte de poluição a caracterizar.

Em espaços para ocupantes com actividade sedentária e nos quais a fonte poluente é exclusivamente o metabolismo humano, a percepção da qualidade do ar interior pode ser expressa em função da concentração de CO₂ (acima da concentração do ar exterior).

A concentração limite de CO₂ acima da concentração exterior, para as três classes de conforto relacionadas com a percepção da qualidade do ar, encontra-se indicada na Figura 4.31 e na Equação (4.3). Na Figura 4.32 representa-se a relação entre a percepção da qualidade do ar interior em decipol (Ci) e a percentagem de pessoas descontentes (PPD).

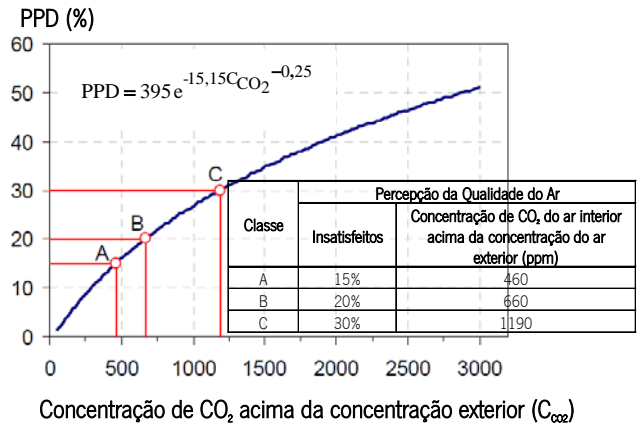


Figura 4.31 – Relação entre a percentagem de pessoas descontentes e a concentração de CO₂ acima da concentração exterior (Fanger, 1988; EUR 14449 EN)

A Equação (4.3) permite calcular a percentagem de pessoas descontentes em função da concentração de CO₂ acima da concentração do ar exterior (em ppm), C_{co2}. A concentração de CO₂ típica no exterior é de 700 mg/m³ (350 ppm).

$$PPD = 395 e^{-15,15C_{CO_2}^{-0,25}} \quad \text{Equação (4.3)}$$

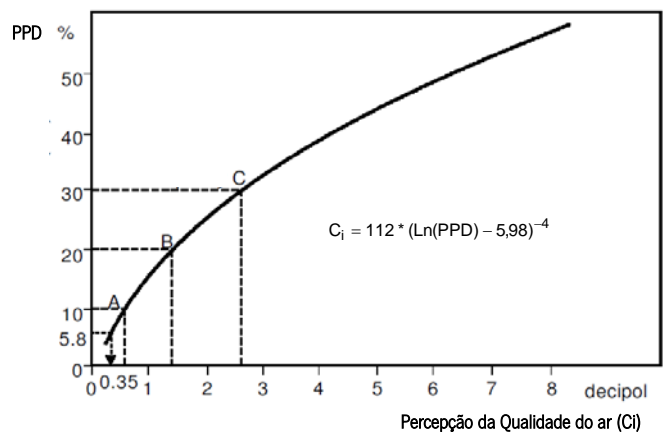


Figura 4.32 – Relação entre a percepção da qualidade do ar interior em decípol (C_i) e a percentagem de pessoas descontentes (PPD) (Fanger, 1988)

Na Equação (4.4) e na Equação (4.5) apresenta-se a relação entre a percepção da qualidade do ar interior em decípol (C_i) e a percentagem de pessoas descontentes (PPD) (Fanger, 1988).

$$PPD = e^{5,98 - (112/C_i)^{0,25}} \quad \text{Equação (4.4)}$$

$$C = 112(\ln(PPD) - 5,98)^{-4} \quad \text{Equação (4.5)}$$

Na Tabela 4.4 apresenta-se a emissão olfativa de pessoas e de alguns materiais.

Na Tabela 4.4 é visível que uma pessoa padrão (sedentária e na condição de neutralidade térmica) produz 1 olf, enquanto um fumador nas mesmas condições e sem estar a fumar produz 6 olf.

As pessoas são sensíveis à poluição olfactiva, o número de pessoas descontentes aumenta rapidamente para valores de decípol mais elevados.

Tabela 4.4 – Emissão olfativa de alguns elementos (Fanger, 1988)

Pessoa / objecto	Emissão olfativa (olf)
Pessoa sentada (1 met)	1 olf
Pessoa activa (4 met)	5 olf
Pessoa activa (6 met)	11 olf
Fumador (sem estar a fumar)	6 olf
Fumador	25 olf
Atleta	30 olf
Mármore	0,01 olf/m ²
Linóleo	0,2 olf/m ²
Fibra sintética	0,4 olf/m ²
Borracha	0,6 olf/m ²

Usando a Equação (4.4), com PPD percentagem de descontentes e C percepção da qualidade do ar em decipol, verifica-se (Kosonen, 2004):

- um edifício com materiais pouco poluentes, com uma pessoa por 10 m², com uma taxa de ventilação de 10 l/s por pessoa – 24% de pessoas descontentes;
- se a percepção da qualidade interior é de 1,4 decipol a percentagem de descontentes é de 20% e a 2,5 decipol é de 30%.

Logo, para manter o número de pessoas descontentes a um nível aceitável, a taxa de ventilação os materiais devem ser seleccionados de forma a manter os níveis de poluição baixos.

A carga de poluição sensorial num espaço pode ser obtida pela adição das cargas sensoriais das diversas fontes existentes, que compreendem habitualmente os ocupantes e os materiais do edifício.

Na Tabela 4.5 apresentam-se a carga poluente sensorial e química emitida pelos ocupantes de um edifício.

Tabela 4.5 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos ocupantes

Actividade	Carga de poluição sensorial olf/ocupante	CO ₂ l/h.ocupante	CO ^{a)} l/h.ocupante	Vapor de água ^{b)} g/h.ocupante
Sedentária (1 a 1,2 met)				
0% fumadores	1	19		50
20% fumadores ^{c)}	2	19	11×10 ³	50
40% fumadores ^{c)}	3	19	21×10 ³	50
Exercício físico				
Fraco (3 met)	4	50		200
Médio (6 met)	10	100		430
Alto (10 met)	20	170		750
Crianças (infantário e escola)				
3 a 6 anos (2,7 met)	1,2	18		90
14 a 16 anos (1 a 1,2 met)	1,3	19		50

^{a)} Produzido pelo tabaco;

^{b)} Aplica-se a pessoas próximo das condições de neutralidade térmica,

^{c)} Considera-se 1,2 cigarros/h por fumador, emissão de 44 ml CO/cigarro

Além da produção de bioefluentes humanos a emissão de poluentes por materiais e equipamentos é também uma fonte poluente importante (Kosonen, 2004). Na Tabela 4.6 apresenta-se a carga poluente sensorial emitida pelos materiais de um edifício.

Tabela 4.6 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos materiais do edifício (Wargocki, 1999)

	Carga sensorial de poluição (olf/m ² pavimento)	
	Valor médio	Gama de valores
Edifícios existentes		
Escritórios	0,6	0 a 3
Escolas (sala de aula)	0,3	0,12 a 0,54
Infantários	0,4	0,20 a 0,74
Auditórios	0,3	0,13 a 1,32
Edifícios novos (sem fumadores)		
Edifício com materiais pouco poluentes (low-polluting)	0,1	
Edifícios não pouco poluentes (low-polluting)	0,2	

Da comparação dos valores indicados na Tabela 4.5 com os valores indicados na Tabela 4.6, verifica-se que a carga poluente dos materiais do edifício pode ser bastante superior à carga poluente libertada pelo homem.

Apesar de não existir consenso internacional acerca do modo como avaliar a qualidade do ar, tendo por base a avaliação integrada os diversos poluentes, a norma EN 15251 de 2007, considera três critérios distintos relativamente à qualidade de ar em recintos climatizados:

- nível de ventilação em função dos bioefluentes libertados pelos ocupantes e das emissões libertadas pelos materiais de construção;
- nível de ventilação em função do número de pessoas ou por metro quadrado de área útil do recinto, sendo apenas considerados os poluentes libertados pelas pessoas;
- o nível de ventilação baseado num balanço de massa e em critérios associados à concentração de CO₂.

Para os edifícios residenciais, a mesma norma considera que a qualidade do ambiente interior depende fundamentalmente de três factores:

- extracção de poluentes gerados em espaços onde se produz vapor (quartos de banho, sanitários e cozinhas);
- da taxa geral de ventilação da fracção;
- da taxa de ventilação dos quartos e salas de estar, baseada fundamentalmente na quantidade de ar novo que é insuflada.

Assim, a norma EN 15251 recomenda níveis de valores para cada um dos factores mencionados, apresentado gamas de valores distintos, em função da categoria de qualidade pretendida para o edifício (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Taxas de ventilação recomendadas em fracções residenciais (fonte: EN 15251, 2007)

Categoria ⁽¹⁾	Taxa de renovação		Salas de estar e quartos (principalmente insuflação de ar novo)		Exaustão de ar (l/s)		
	l/s.m ² ⁽²⁾	RPH	l/s.ocupante ⁽²⁾	l/s.m ²	Cozinha	Quartos de banho	Sanitários
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

Notas:

- 1) A categoria I corresponde ao melhor nível de qualidade (ver Tabela 2.2).
- 2) Este caudal é fixado tendo em conta o número recomendado de Renovações Por Hora (rph) e considerando um pé-direito livre de 2,5m.
- 3) O número de ocupantes de uma fracção pode ser estimado com base no número de quartos. Em Portugal é possível encontrar essa informação no Quadro VI.1 do Anexo VI do RCCTE.

Em Portugal, os critérios de qualidade do ar no interior nos edifícios (QAI) estão regulamentados em dois diplomas legais: RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006) e RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006). No âmbito de aplicação do RCCTE, para a garantia da QAI, são impostas taxas de referência para a renovação do ar, devendo as soluções construtivas adoptadas para os edifícios ou fracções autónomas, dotados ou não de sistemas mecânicos de ventilação, garantir a satisfação desses valores sob condições médias de funcionamento. Este diploma está sobretudo orientado para os edifícios ou fracções residenciais e impõe um valor mínimo nominal de 0,6 renovações por hora (RPH) do ar interior. O RSECE está sobretudo orientado para os edifícios de serviços e as exigências vão desde a imposição, para edifícios novos, de valores mínimos de renovação de ar por espaço, em função da sua utilização (Tabela 8.9), à limitação de valores máximos de concentração de poluentes – CO, CO₂, COV, partículas, etc. – (Tabela 4.8) até à obrigação de todos sistemas energéticos construídos ou existentes serem mantidos em condições de higiene de forma a garantir a qualidade do ar interior.

Tabela 4.8 - Caudais mínimos de ar novo em compartimentos de diversos tipos de edifícios (fonte: RCCTE, 2006)

Tipo de edifício	Tipo de actividade	Caudais mínimos de ar novo	
		[m ³ /(h.ocupante)]	[m ³ /(h.m ²)]
Residencial	Salas de estar e quartos	30	

De seguida analisam-se os apartamentos tipo, de modo a verificar qual a sua classe, associada aos níveis de qualidade do ar e de percentagem de pessoas descontentes.

4.4.1 Aplicação da metodologia aos edifícios tipo

Os Apartamentos tipo são de tipologia T3, com 127,3 m² e 128,3 m² de área, têm uma ocupação de 4 pessoas, não fumadoras, e a taxa de renovação é no mínimo de 0,6 h⁻¹ (21,22 l/s e 21,38 l/s, respectivamente).

A percepção de odores pelos ocupantes e a percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior, para os edifícios tipo são apresentados na Tabela 4.9 e na Tabela 4.10, considerando os edifícios novos e com materiais não pouco poluentes e com materiais pouco poluentes, respectivamente

Tabela 4.9 – Percepção da Qualidade do ar nos apartamentos tipo, novos, com materiais não pouco poluentes

Apartamento	Percepção da qualidade do ar interior em decipol (Ci)			Percentagem de pessoas descontentes (PPD)		
	0% fumadores	20% fumadores	40% fumadores	0% fumadores	20% fumadores	40% fumadores
Tipo 1	1,388	1,577	1,752	19,748	21,691	23,393
Tipo 2	1,387	1,565	1,761	19,736	21,573	23,481

Tabela 4.10 – Percepção da Qualidade do ar nos apartamentos tipo, novos, com materiais pouco poluentes

Apartamento	Percepção da qualidade do ar interior em decipol (Ci)			Percentagem de pessoas descontentes (PPD)		
	0% fumadores	20% fumadores	40% fumadores	0% fumadores	20% fumadores	40% fumadores
Tipo 1	0,788	0,977	1,157	12,524	14,996	17,169
Tipo 2	0,787	0,970	1,161	12,507	14,904	17,223

A Tabela 4.9 e a Tabela 4.10 mostram que, para a taxa de renovação de ar mínima definida no RCCTE, os edifícios só são de Classe A (15% de descontentes) se os ocupantes não forem fumadores e os materiais utilizados na construção forem pouco poluentes. Se 20% dos ocupantes forem fumadores e os materiais forem pouco poluentes a percentagem de descontentes é de 15%. Com 40% de fumadores o edifício será de classe B.

Um edifício com materiais não pouco poluentes será de Classe B se não existirem fumadores e de Classe C nas restantes situações.

4.5 Simulação do Comportamento Acústico

A previsão do comportamento acústico foi realizada usando o programa Acoubat Sound. Para tal foi definida a geometria dos compartimentos adjacentes, dois na vertical e dois na horizontal, tal como mostra a Figura 4.33. Para definir a geometria, uma vez que o programa só permite a definição de compartimento de forma rectangular, foi necessário simplificar a geometria dos compartimentos em análise. Para tal as dimensões das paredes em estudo foi mantida, bem como o volume do compartimento.

Foi também necessário criar a base de dados de soluções construtivas, além da base de dados já existente no programa, a base de dados portuguesa associada e foi também aumentada através da introdução das características e dos dados relativos às diferentes soluções construtivas existentes na base de dados dBMat do LabEin, do País Basco (Figura 4.33).

Os elementos construtivos analisados são os que estão definidos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, RRAE (Decreto-Lei 96/2008), parede exterior, paredes interiores, separando zonas de estar e quartos de zonas comuns de circulação, caixa de escadas e de elevador e de habitações adjacente e o pavimento.

No Anexo III apresentam-se os resultados dos estudos realizados em mais detalhe.

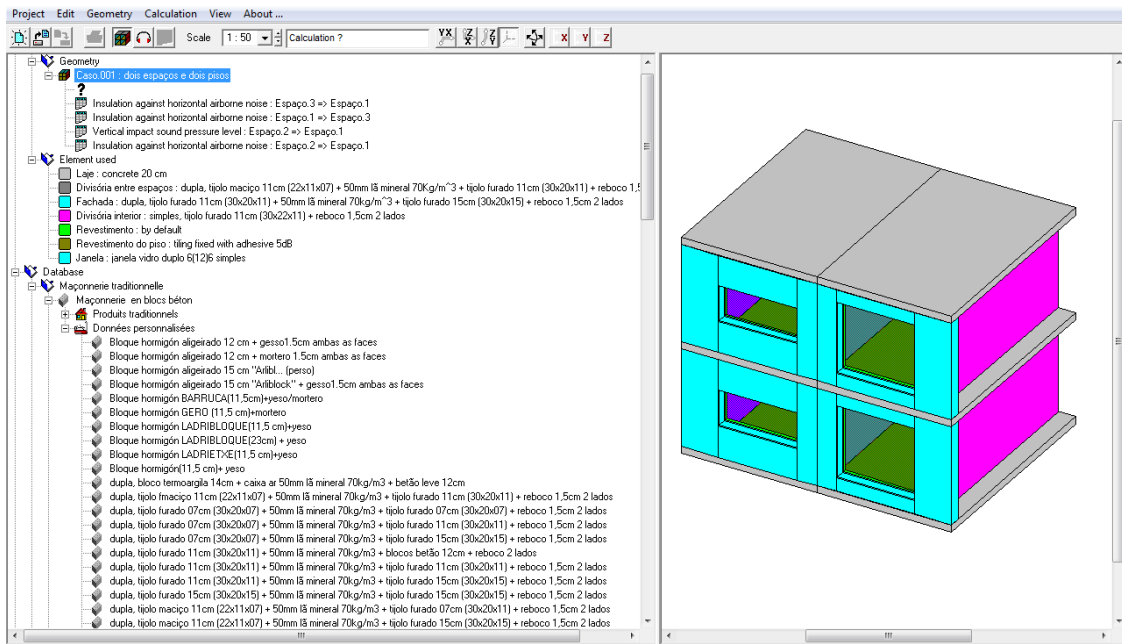


Figura 4.33 – Geometria dos compartimentos para avaliar o comportamento acústico da Habitação tipo com diversas soluções construtivas

Na Figura 4.34 apresentam-se os valores estimados do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão padronizado ($D_{nT,W}$ e $L'_{nT,W}$) de alguns tipos de pavimentos.

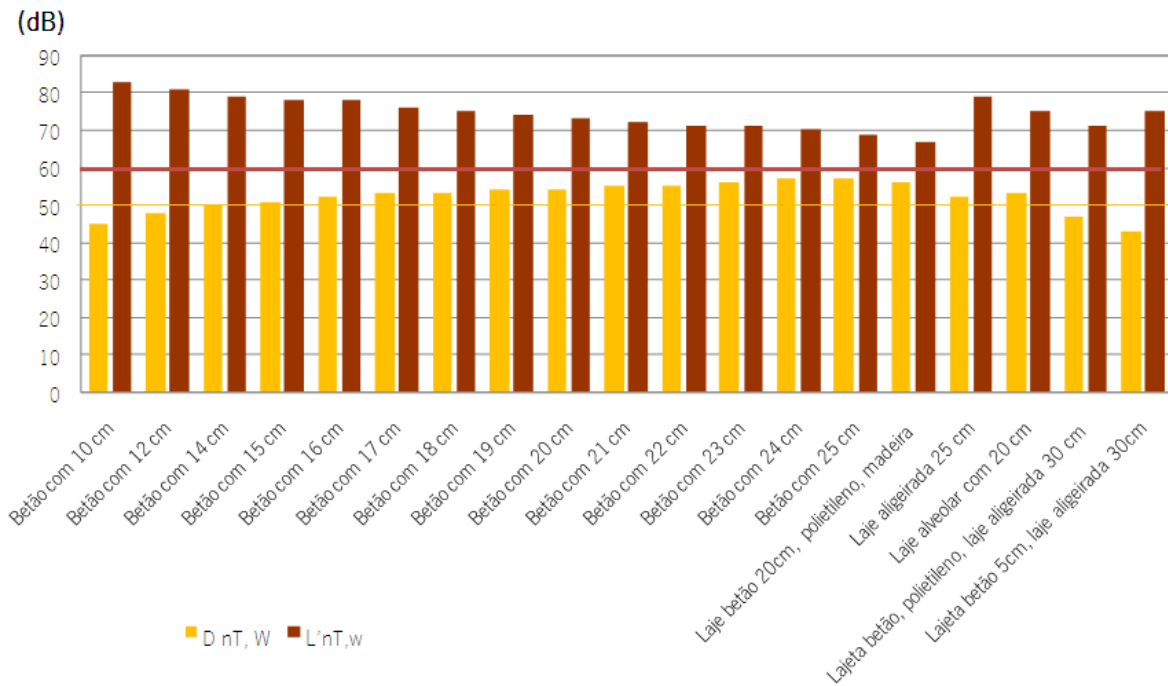


Figura 4.34 – Comportamento acústico de diversos tipos de pavimentos em betão armado, sem revestimento

Tal como mostra a Figura 4.34 os pavimentos constituídos por lajes aligeiradas com abobadilhas cerâmicas, por lajes maciças ou por lajes alveolares não respeitam os requisitos definidos no RRAE (Decreto-Lei n.º 96/2008), no que respeita ao isolamento sonoro a sons de percussão.

Na Figura 4.34 é visível a influência do tipo e espessura do elemento estrutural que constitui a laje de pavimento. As soluções mais pesadas possuem melhor isolamento a sons de condução aérea, por exemplo o $D_{nT,w}$ de uma laje de betão armado com 25 cm de espessura é 3 dB superior ao de uma laje com 20 cm e 6 dB superior ao de uma laje de betão armado com 15 cm de espessura. Em relação aos sons de percussão a redução foi de 4 dB, e 9 dB para as mesmas situações.

Na Figura 4.35 apresentam-se os valores do nível de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão padronizado para lajes maciças com diferentes tipos de revestimento de piso.

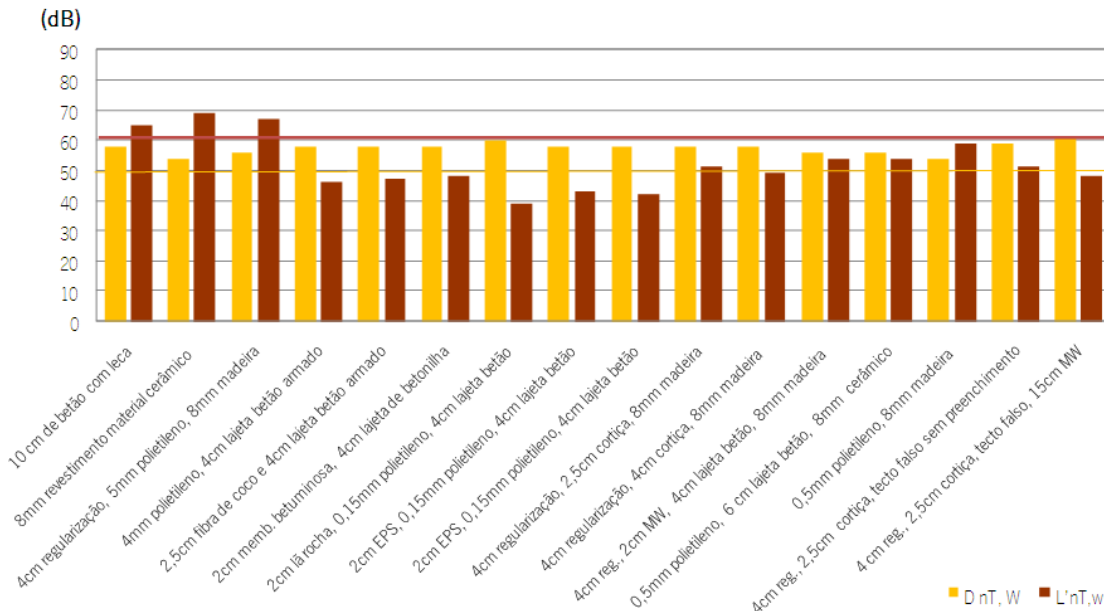


Figura 4.35 – Comportamento acústico de pavimento com uma laje maciça com 20 cm, como elemento de suporte, com diversos tipos de revestimento de piso e de tecto falso

Na Figura 4.36 mostram os valores do nível de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão padronizado para diferentes tipos de pavimentos com lajes aligeiradas.

A Figura 4.35 e a Figura 4.36 mostram a influência da espessura e do tipo de elemento resiliente e da existência de uma laje flutuante para o comportamento acústico de lajes de betão armado e aligeiradas.

Para os pavimentos cumprirem os requisitos do RRAE é necessária a existência de uma laje flutuante e um elemento resiliente com boas características elásticas.

A Figura 4.35 mostra a importância do elemento resiliente e da existência de uma laje flutuante para que os requisitos regulamentares relativos ao isolamento a sons de percussão sejam cumpridos. Se o pavimento separar uma zona de habitação e uma zona comercial é necessário também um tecto falso preenchido com um material absorvente, por exemplo lã mineral para que o RRAE seja cumprido (RRAE, 2008).

Em Portugal os pavimentos mais comuns têm lajes aligeiradas e lajes de betão como elemento de suporte, uma lâmina de espuma de polietileno reticulado e o revestimento de piso em material cerâmico ou em madeira. Então, tal como a Figura 4.35 e a Figura 4.36 mostram que é necessário melhorar o desempenho acústico dos pavimentos, em especial no que respeita ao isolamento sonoro a sons de percussão. E para melhorar o isolamento a sons de impacto é necessário usar elementos resilientes e pavimentos flutuantes.

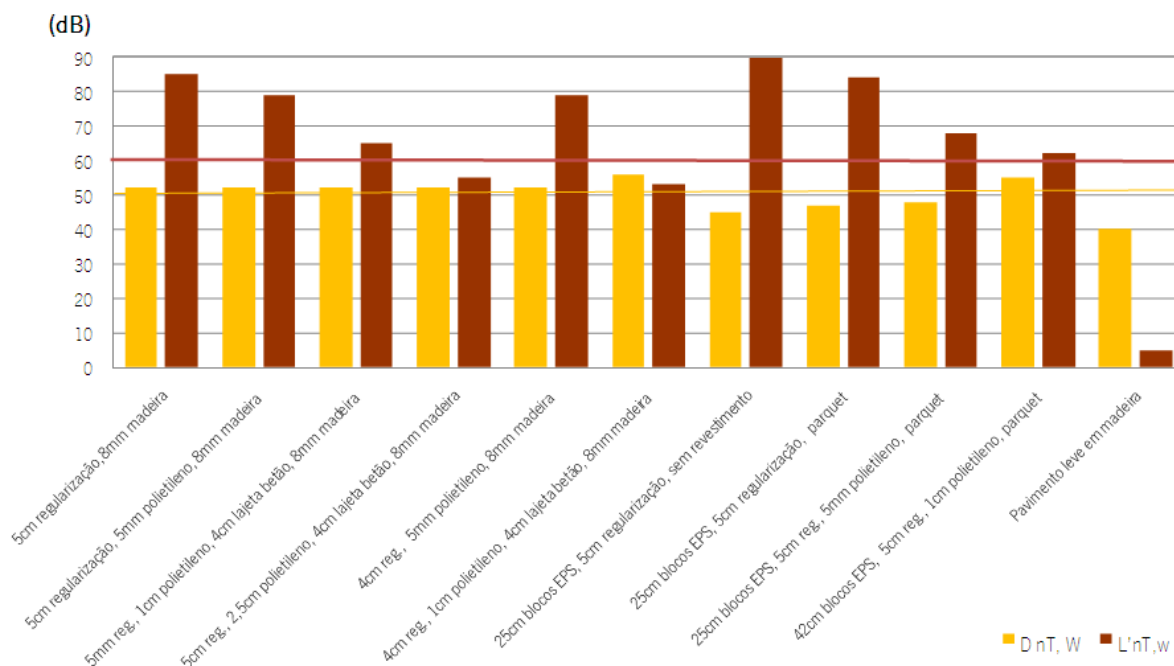


Figura 4.36 – Comportamento acústico de diversos tipos de pavimento com lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos com 25 cm, como elemento de suporte, com diversos tipos de revestimento de piso

Uma possível solução é utilizar uma camada resiliente de poliestireno expandido extrudado, aglomerado de cortiça, aglomerado de cortiça e borracha, etc., que permitem melhorar o isolamento acústico, mas também o isolamento térmico. A inclusão de uma camada resiliente destes materiais, com 2 cm de espessura e uma lajeta flutuante de betão armado com 4 cm de espessura mínima (Figura 4.37), permite melhorar as características acústicas do pavimento, sendo o estipulado no RRAE respeitado ($D_{nT,w} = 53\text{dB}$ e $L'_{nT,w} = 54\text{dB}$).

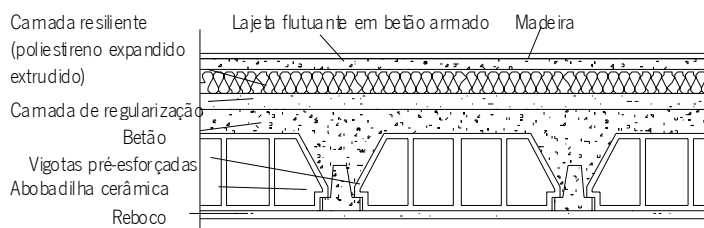


Figura 4.37 – Corte esquemático do pavimento aligeirado com uma lajeta flutuante

Na Tabela 4.11 apresentam-se os valores estimados do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior, padronizado ($D_{2m, nT, w}$) das paredes exteriores, para os diferentes compartimentos do edifício (quarto, sala comum e cozinha), para as duas situações estudadas, janela com 1 m de altura (15% da área de pavimento e 30% da área de parede) e portas envidraçadas com 2 m de altura (30% da área de pavimento e 60% da área de parede) de vidro duplo (4 + 6 + 4) mm.

A maior parte das soluções estudadas cumprem o estipulado na regulamentação Portuguesa (Decreto-Lei 96/2008). As exceções correspondem às paredes de fachada da cozinha e da sala com 2 m de altura (cerca de 60% da área da parede exterior), uma vez que a área de envidraçado ocupa mais de metade da parede, se o edifício se localizar numa zona mista.

Por exemplo, tal como mostra a Tabela 4.11, paredes exteriores com 4 cm de poliestireno expandido extrudido e envidraçados ocupando 30% ou 60% da área da parede, não existem diferenças significativas em função da solução construtiva, uma vez que são todas pesadas. No entanto, as diferenças em função da área de envidraçados existem diferenças de 2 dB.

Tabela 4.11 - Comportamento acústico de diversos tipos de paredes de fachada da Habitação Tipo 1 ($D_{2m, nT, W}$ em dB)

Solução Construtiva	Massa (kg/m ²)	Compartimento			
		Cozinha	Sala comum	Quarto 1	Quarto 2
($D_{2m, nT, W}$ em dB) envidraçados com 1 m / 2 m		30% A _{parede} / 60% A _{parede}			
Paredes simples de betão armado com 15 cm, com 4 cm de poliestireno expandido extrudido no exterior	350	34 / 32	33 / 31	34 / 33	35 / 33
Paredes simples de tijolo cerâmico furado com 22 cm com 4 cm de poliestireno expandido extrudido no exterior	210	34 / 32	33 / 31	34 / 33	35 / 33
Paredes duplas de tijolo cerâmico furado (15 + 11) cm com 4 cm de poliestireno expandido extrudido na caixa-de-ar de 8 cm	280	34 / 32	33 / 31	34 / 33	35 / 33
Paredes duplas de tijolo cerâmico maciço e tijolo cerâmico furado (11 + 11) cm com 4 cm de poliestireno expandido extrudido na caixa-de-ar de 8 cm	332	34 / 32	33 / 31	34 / 33	35 / 33

Na Figura 4.38, na Figura 4.39, na Figura 4.40, na Figura 4.41 e na Figura 4.42 apresentam-se os valores estimados do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior, padronizado ($D_{2m, nT, W}$), para diversos tipos de paredes e várias áreas de envidraçado (6 + 10 + 4) mm, em relação à área de paredes do Quarto 2.

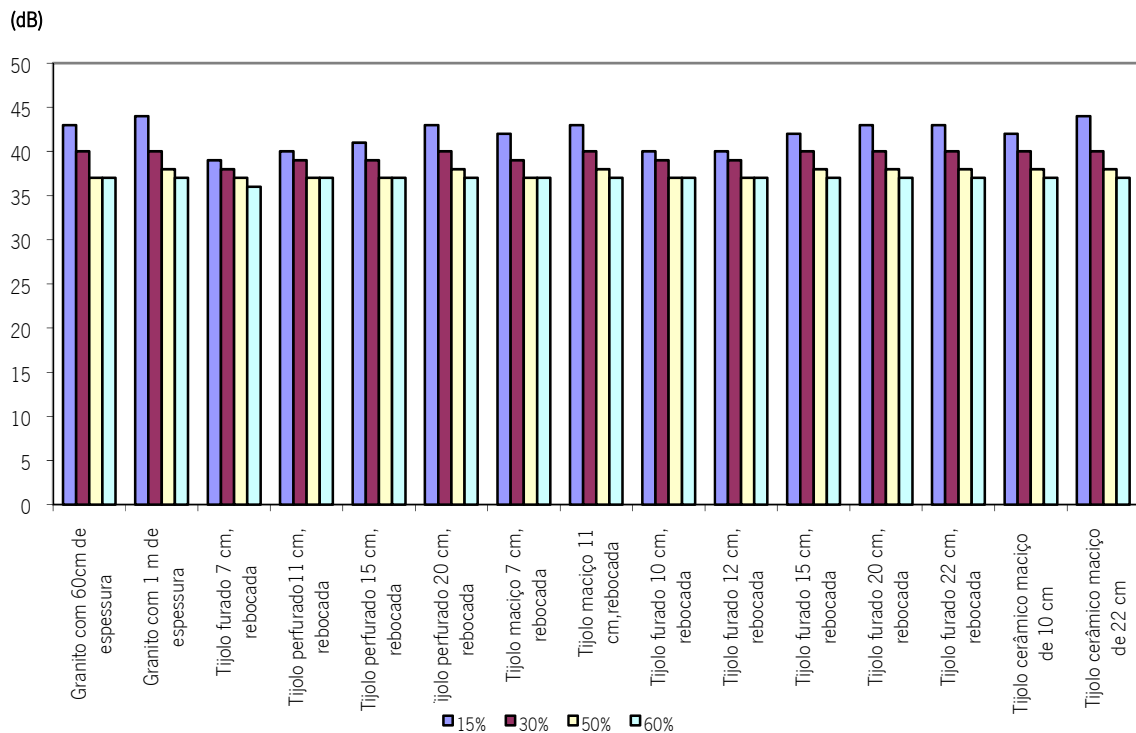


Figura 4.38 - Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de granito e de tijolo cerâmico, para diferentes áreas de envidraçado ($D_{2m, nT, W}$ em dB)

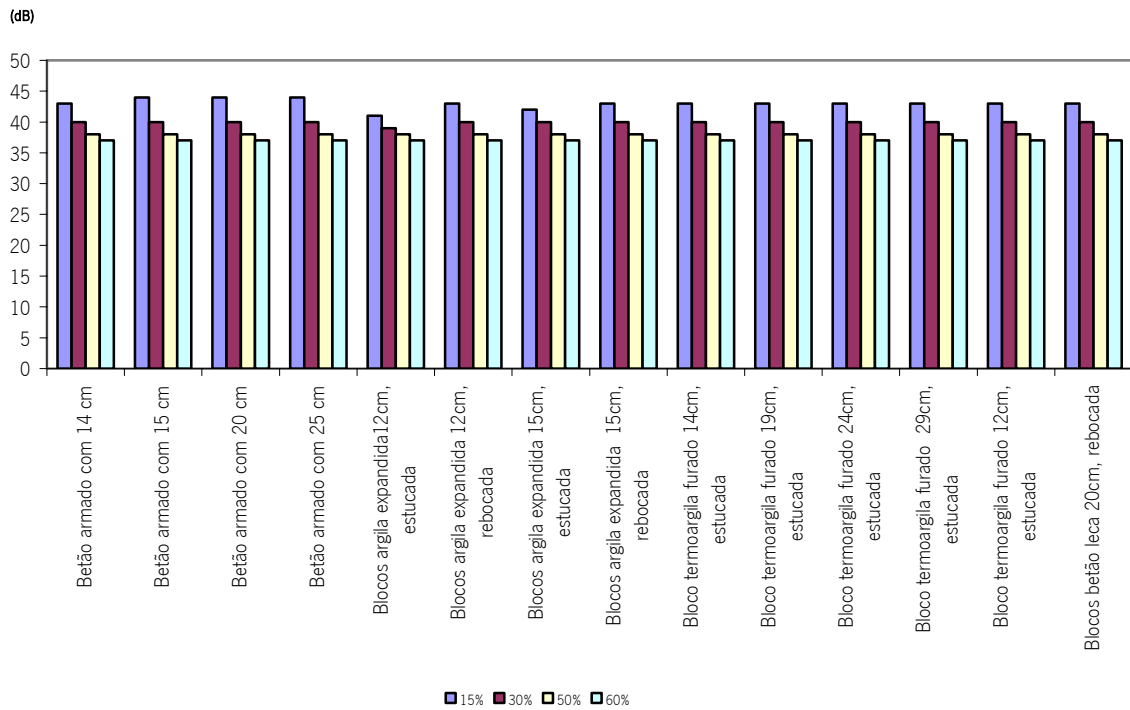


Figura 4.39 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de betão e blocos de argila expandida, termoargila e betão e leca ($D_{2m,nT,W}$ em dB)

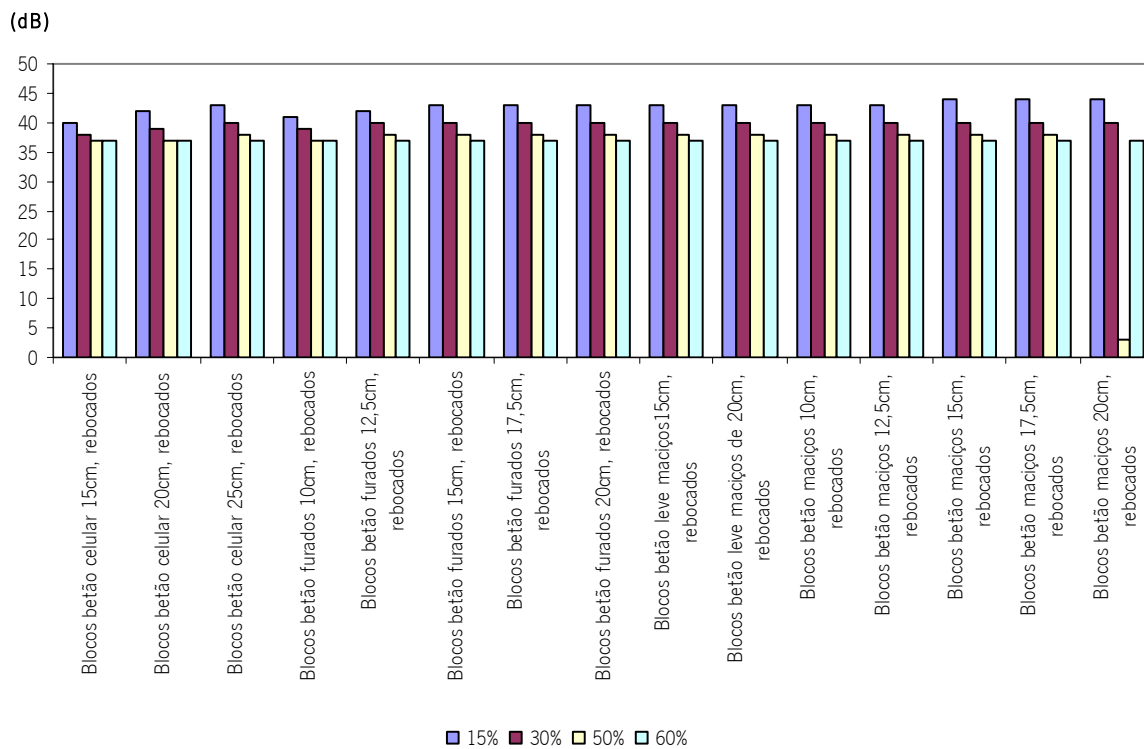


Figura 4.40 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de blocos de betão ($D_{2m,nT,W}$ em dB)

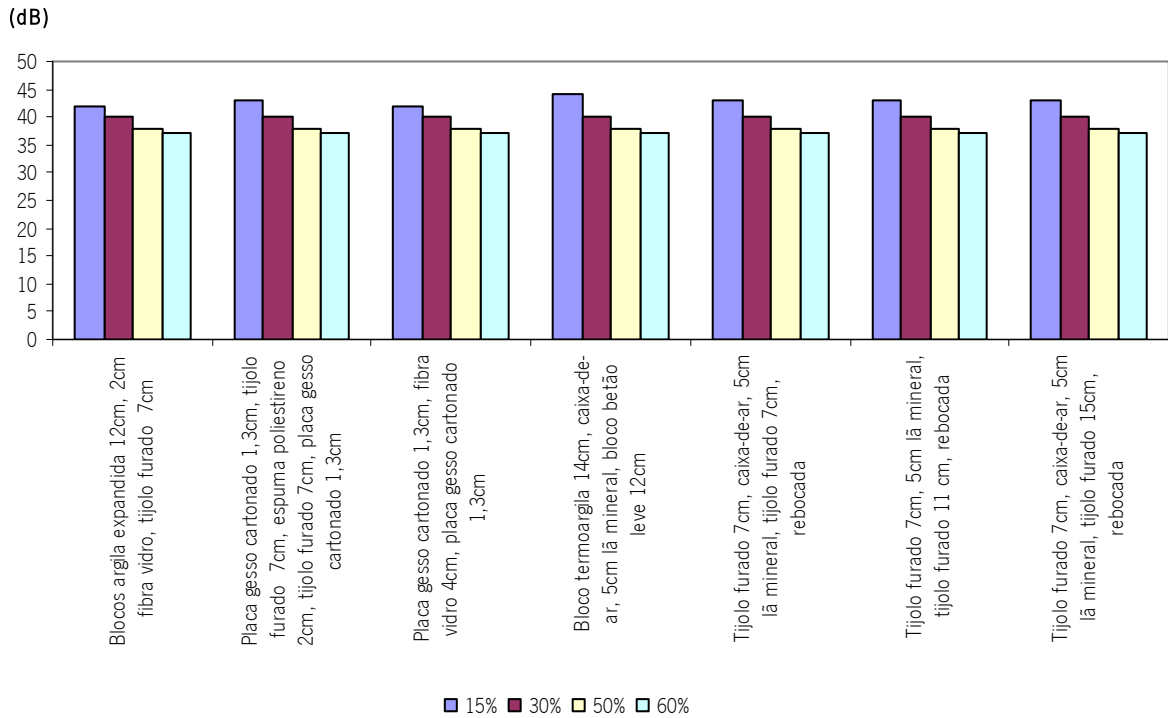


Figura 4.41 - Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores duplas ($D_{2m,nT,W}$ em dB)

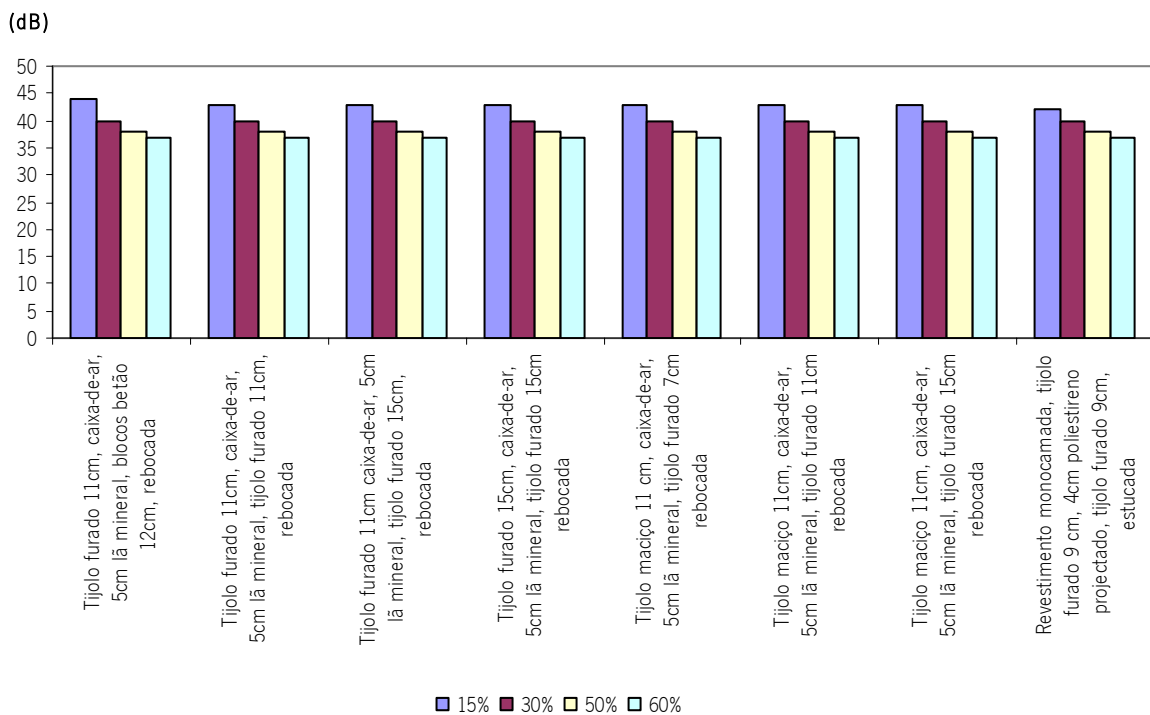


Figura 4.42 - Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico ($D_{2m,nT,W}$ em dB)

Na Figura 4.43 apresentam-se os valores estimados do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado ($D_{nT,W}$) das paredes exteriores, em função do tipo de envidraçado e da existência ou não de caixas de estore (CE), a parede exterior considerada foi uma parede dupla de tijolo cerâmico furado de 11 cm, caixa-de-ar com 5 cm lâ mineral com 70kg/m³, tijolo furado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm) e 30% de área de envidraçado em relação à área de parede.

É então visível a influência da área de envidraçados no comportamento acústico das fachadas, sendo assim essencial conjugar a área de envidraçados com a sua qualidade acústica, bem como das caixas de estores, se existirem, pois estas podem reduzir o índice de isolamento acústico entre 1 dB a 3 dB.

Assim, a redução da área de envidraçados na fachada Norte de modo a reduzir as perdas térmicas terá também um efeito positivo no comportamento acústico do edifício.

A área de envidraçado e o tipo de vidro é muito penalizadora para o comportamento da parede exterior. Para áreas de envidraçado acima dos 40% da área das paredes é a qualidade acústica do envidraçado que irá determinar o isolamento acústico da parede.

Assim, o tipo de parede exterior e de envidraçado deve ser analisada em conjunto, de modo a otimizar o comportamento da fachada. O tipo de caixilharia e a forma da abertura é também importante, devem ser preferidas as caixilharias giratórias em detrimento das de correr.

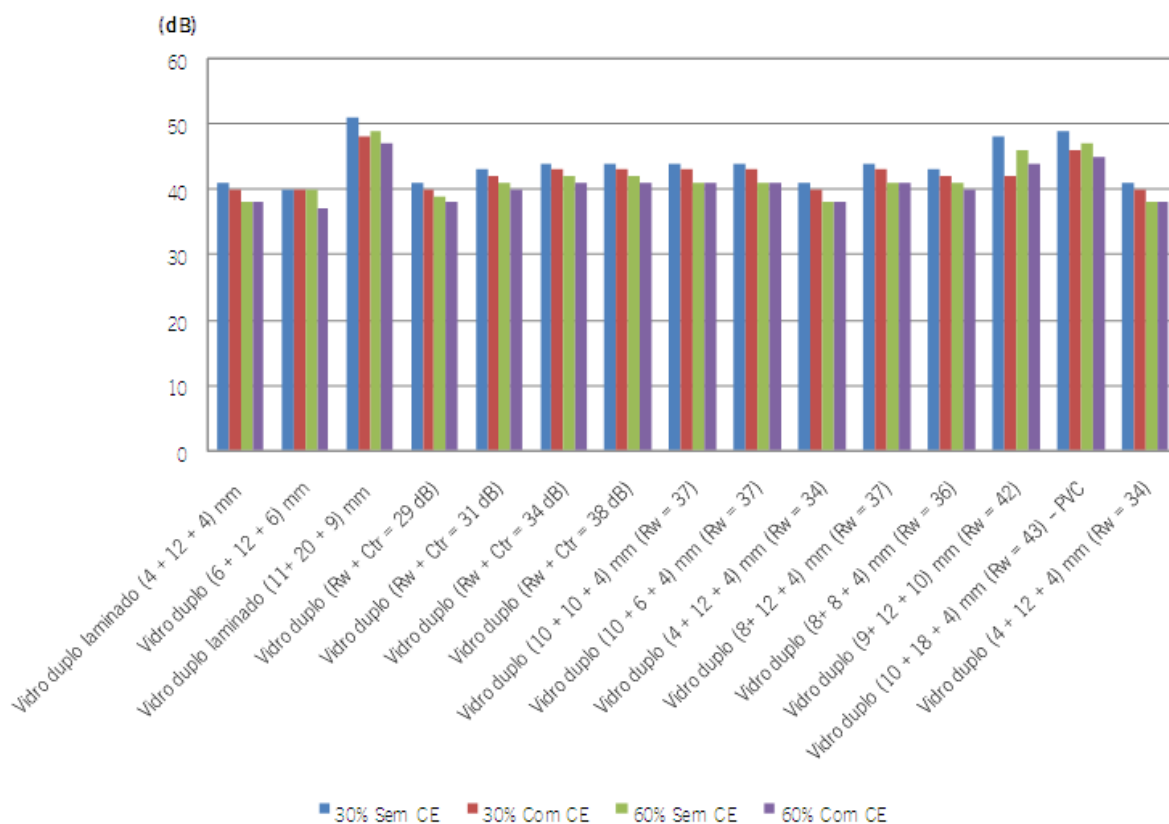


Figura 4.43 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores, em função do tipo de envidraçado (Parede dupla de tijolo furado de 11 cm caixa-de-ar com 5 cm lã mineral com 70kg/m³, tijolo furado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)

Na Figura 4.44, na Figura 4.45 e na Figura 4.46 apresentam-se os valores estimados do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado ($D_{nt,w}$) das paredes interiores simples e duplas de vários materiais e espessuras.

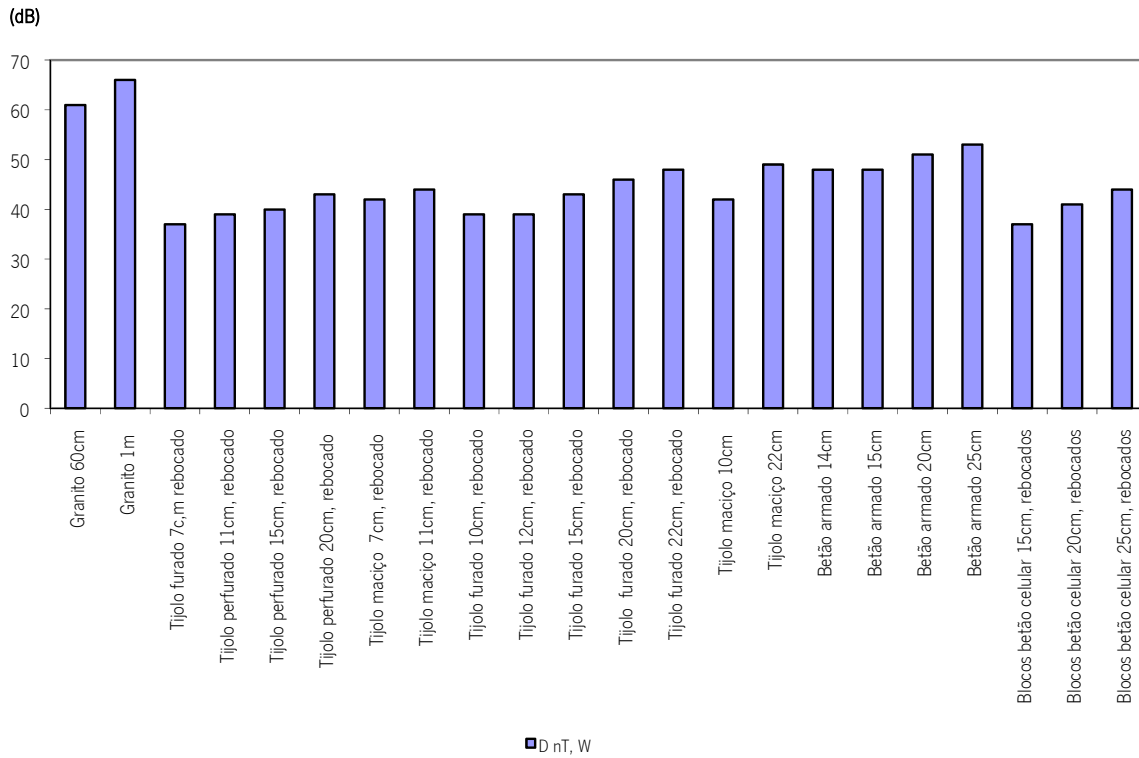


Figura 4.44 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores simples (granito, tijolo cerâmico, betão armado, blocos de betão celular)

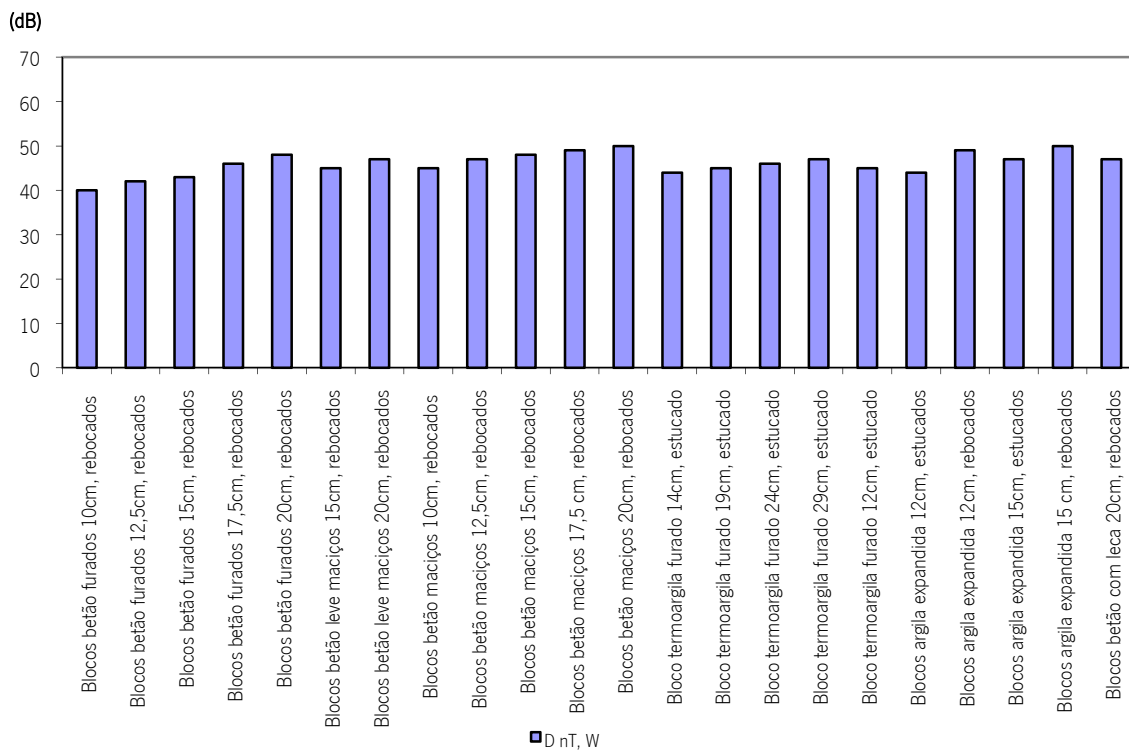


Figura 4.45 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores simples (blocos de betão, termoargila e de argila expandida)

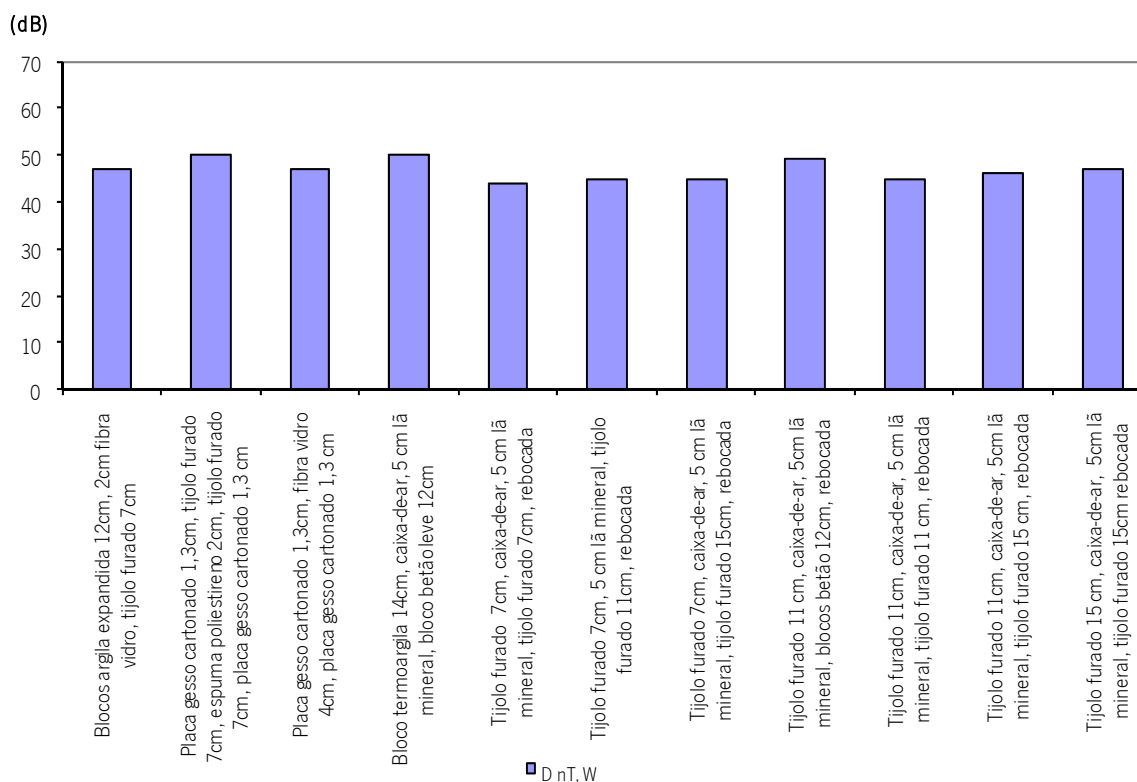


Figura 4.46 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores duplas

A Figura 4.44 , a Figura 4.57 e a Figura 4.46 mostram que apenas as paredes simples pesadas, de betão armado ou granito e as paredes duplas de tijolo cerâmico ou blocos de betão com panos de espessura superior a 11 cm, cumprem os requisitos relativos ao isolamento sonoro a sons de condução aérea de elementos de separação entre habitações.

Um grande número de soluções construtivas cumpre os requisitos referentes a elementos de separação entre habitações e zonas comuns de circulação.

Assim verificou-se que existe um grande número de soluções construtivas para paredes e pavimentos que cumprem os requisitos relativos ao comportamento acústico de edifícios de habitação.

Para os elementos de separação entre habitações e zonas comerciais os requisitos regulamentares são mais exigentes, sendo necessário melhorar o isolamento das paredes (aumentando a sua massa, ou usando paredes triplas) e dos pavimentos (usando tectos falsos, suportados por suspensores acústicos), de modo a respeitar o RRAE.

Para melhorar o comportamento acústico dos edifícios é também possível separar as paredes dos pavimentos através de elementos resilientes, quebrando assim a propagação de sons de percussão. No entanto esta hipótese é de difícil execução em termos construtivos em especial no que respeita aos elementos estruturais, o que permite melhorar o isolamento a sons de condução aérea e de percussão em 1 dB, se os elementos construtivos forem pesados.

A inclusão de aberturas auto-reguláveis para ventilação pode reduzir o isolamento acústico da parede exterior em 1 dB a 3 dB, mas se estas forem seleccionadas de forma adequada não afectam o comportamento global da parede exterior, uma vez que existem sistemas que conferem um isolamento sonoro superior ao dos envidraçados correntes (30 dB a 47 dB).

A execução dos edifícios tem um importante papel no desempenho acústico dos elementos construtivos, associada à transmissão marginal, sendo por isso necessário uma construção cuidada de modo a assegurar a qualidade acústica do edifício.

É também necessário considerar que os requisitos regulamentares correspondem ao nível de qualidade mínima e não asseguram a existência de condições de conforto.

Assim, ao seleccionar as soluções construtivas e apesar do programa escolhido para realizar a avaliação acústica ser baseada em dados relativos ao isolamento acústico de elementos construtivos ensaiados em laboratório e calcular a contribuição da transmissão marginal para o mesmo, deve ter-se em mente que os valores referidos podem ser diferentes dos medidos in situ.

Deste modo deve optar-se por soluções construtivas com um índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea superior ao regulamentar e com um índice de isolamento sonoro a sons de percussão inferior ao definido no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

4.6 Simulação do Comportamento Lumínico

A avaliação do desempenho lumínico de um edifício através da simulação permite prever os valores da luminância e da iluminância e do Factor de Luz do Dia.

Uma vez que as condições de iluminação natural do edifício dependem das características das superfícies interiores do edifício, da forma e localização dos envidraçados, das características do vidro, da orientação dos envidraçados e também das obstruções exteriores é necessário conhecer e caracterizar todos estes factores de modo que os resultados sejam fiáveis.

A previsão do comportamento lumínico dos edifícios foi realizada usando os programas de simulação Desktop Radiance e Ecotect. No programa de simulação Ecotect simularam-se os edifícios tipo e os edifícios em que se efectuaram as medições in situ.

O procedimento seguido para a execução da simulação para cada compartimento foi o seguinte:

- definição da geometria do compartimento;
- definição dos envidraçados;
- atribuição das características dos materiais da envolvente;
- criação da grelha de análise pretendida.

Para o programa de simulação proceder à simulação, foi necessário ainda definir a localização do edifício, a iluminância do céu, o tipo de céu e as condições de manutenção dos envidraçados (factor de limpeza). Assim:

- foi utilizado o ficheiro climático de Guimarães;
- a iluminância do céu foi calculada pelo modelo da latitude, calculada automaticamente pelo programa de simulação em função das coordenadas do local do ficheiro climático;
- a distribuição da luminância adoptada foi a de um céu encoberto, segundo as recomendações da Comissão Internacional de Iluminação, CIE;
- os envidraçados foram considerados com um factor de limpeza de 0.90;

Tendo em conta estas considerações foram obtidos os valores de FLD e iluminância em toda a grelha criada.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação das condições lumínicas in situ realizadas.

4.6.1 Simulação do comportamento lumínico

Previsão do nível de Iluminância e do Factor de Luz do Dia

A simulação do comportamento lumínico foi realizada através da previsão do nível de iluminância e o factor de Luz do Dia para os compartimentos principais das habitações (salas, quartos e cozinhas), com diferentes orientações, número e dimensão dos vãos envidraçados.

Simulação do comportamento lumínico dos Edifícios Tipo

A avaliação das condições de iluminação natural dos Edifício Tipo, representados no Capítulo 3 e no Anexo III, foi realizada para um quarto, a sala e a cozinha, para as 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho considerado as condições de céu encoberto padrão definido pela CIE. As características das superfícies e dos envidraçados consideradas foram:

- reflectância da superfície interior das paredes e tectos: 0,60;
- reflectância da superfície interior dos pavimentos: 0,30;
- factor de obstrução dos envidraçados: 0,75;
- reflectância do vidro: 0,7;
- modelo de iluminância do céu: céu encoberto padrão da CIE;
- iluminância do céu: 7000 lx.

De seguida apresentam-se os resultados relativos ao Edifício Tipo 1, com os quartos orientados a Sul e a cozinha e a sala orientadas a Norte.

Na Figura 4.47 apresentam-se os resultados relativos à iluminância (à esquerda) e do Factor de Luz do Dia (à direita) previstos para o Quarto 1 do Edifício Tipo 1, com duas fachadas, para o dia 21 de Dezembro e para o dia 21 de Junho.

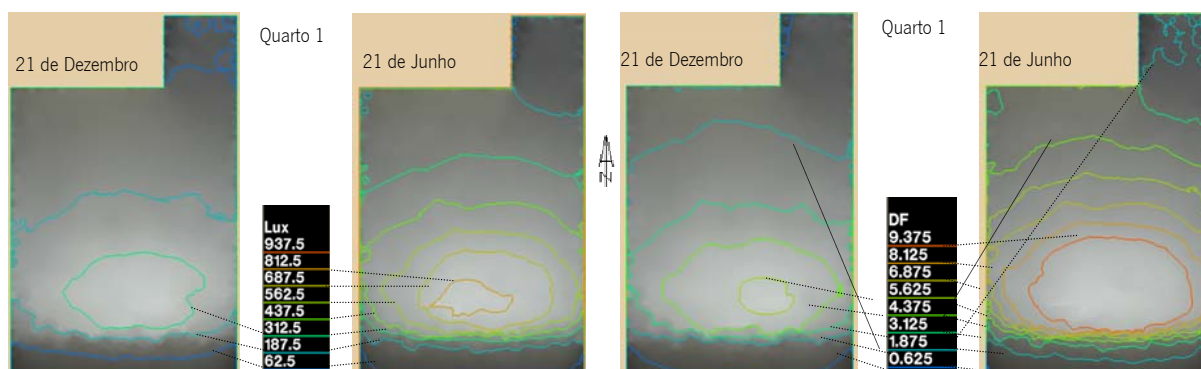


Figura 4.47 - Iluminância e FLD para o Quarto 1 do Edifício Tipo 1

O quarto possui um envidraçado, com 1 m de altura, ocupando a maior parte da parede exterior, correspondendo a uma área de envidraçado em relação à área de pavimento de cerca de 15%, de modo a maximizar o aproveitamento da radiação solar usando a inércia térmica do edifício.

O valor máximo de iluminância no dia 21 de Dezembro é de cerca de 312 lx, junto ao envidraçado e o valor mínimo de aproximadamente 62 lx, na zona mais profunda do quarto e junto à parede com o

envidraçado, tal como mostra a Figura 4.47. No dia 21 de Junho o valor máximo da iluminância é superior a 800 lx, sendo o valor mínimo registado também de cerca 62 lx junto à parede Sul.

O valor de FLD máximo é de 4,4% para o dia 21 de Dezembro e de 9,4% para o dia 21 de Junho e o valor mínimo de 0,6% junto à parede Sul e nas zonas mais profundas do compartimento. Os valores recomendados pela CIE (0,5% a 3/4 de profundidade do compartimento) são respeitados, sendo de aproximadamente 1,8% para o dia 21 de Dezembro e de 4% para o dia 21 de Junho, tal como mostra a Figura 4.47.

Alterando as dimensões do envidraçado, mantendo a largura, mas duplicando a altura, passando de 1,0 m (2,2 m²) para 2,0 m (4,4 m²), sendo neste caso a área de envidraçado em relação à área de pavimento de 30%, os valores do FLD respeitam as recomendações da CIE, sendo de aproximadamente 0,9% a 3/4 de profundidade do compartimento.

Os valores recomendados são respeitados no dia 21 de Dezembro e largamente ultrapassados a 21 de Junho, em especial se os envidraçados tiverem 2,0 m de altura.

De acordo com as recomendações da Comissão internacional de iluminação um Factor de Luz do Dia de 2% a 5% é o ideal para iluminação e aproveitamento dos ganhos solares (CIE, 1975). Para Portugal um Factor de Luz do Dia da ordem dos 3% assegura os níveis de iluminação e os ganhos térmicos através dos envidraçados durante o inverno, sem sobreaquecer o edifício durante o verão (Santos, 2001).

Os valores de iluminância recomendados durante o inverno são apenas respeitados junto ao envidraçado e em todo o compartimento durante o verão. No entanto em Portugal o valor da iluminância exterior de céu encoberto é ultrapassado em 90 % do ano (Silva, 2002).

Na Figura 4.48 mostram-se os valores de iluminância para o Quarto 1 para o dia 21 de Dezembro e para o dia 21 de Junho, em condições de céu limpo, sendo visível que os níveis de iluminância de Inverno ultrapassam o 700 lx e de Verão os 1500 lx.

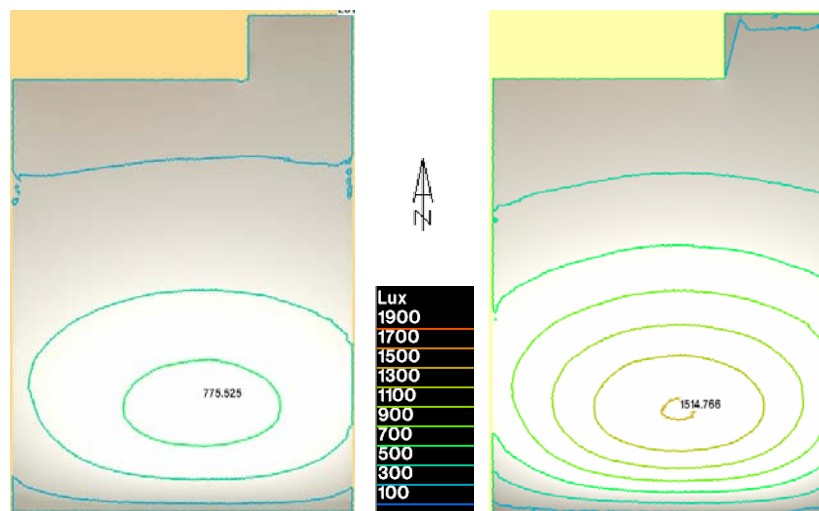


Figura 4.48 – Iluminância e FLD para o Quarto 1 do Edifício Tipo 1, com céu limpo

Na Figura 4.49 podem ver-se os resultados referentes ao FLD para a cozinha do Edifício Tipo 1 para as 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho. A cozinha está orientada a Norte e a área de envidraçado em relação ao pavimento de 15%.

Em ambos os dias é visível a influência do envidraçado, sendo o FLD mais elevado na sua zona de influência. Os valores de FLD recomendados não são respeitados em nenhum dos dias.

Comparando os resultados relativos ao FLD para os dois dias verifica-se que a quantidade de luz natural no interior da cozinha é ligeiramente superior em Dezembro, sendo os níveis muito homogéneos, uma vez que o envidraçado é orientado a Norte.

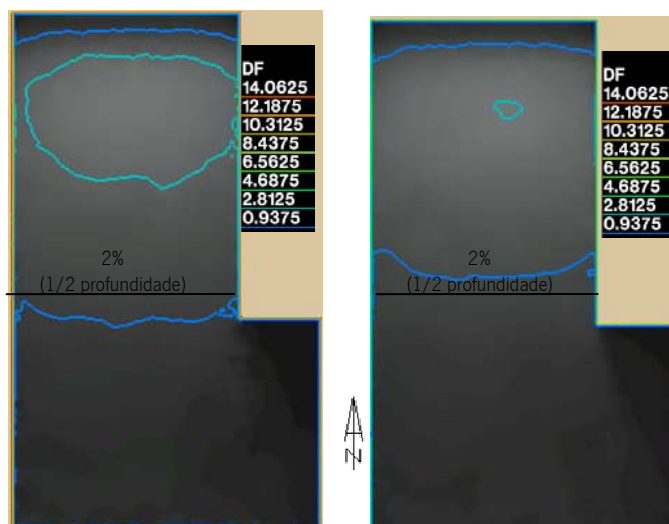


Figura 4.49 – FLD para a cozinha do Edifício Tipo 1, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho

Na Figura 4.50 apresentam-se os resultados relativos ao FLD para o Quarto 2, do Edifício Tipo 1, orientado a Sul, com um envidraçado com 2 m de altura, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho.

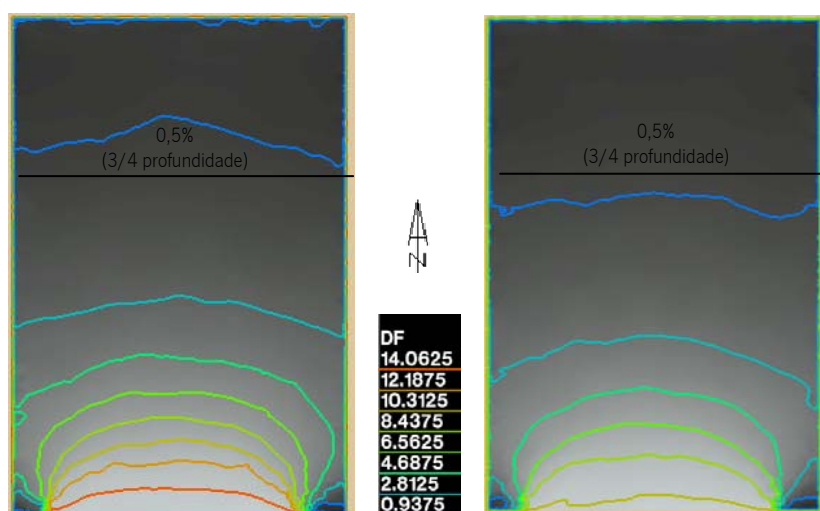


Figura 4.50 – FLD para o Quarto 2 do Edifício Tipo 1, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho

Na Figura 4.50 é possível verificar que o valor de FLD recomendado é respeitado em ambas as situações, sendo também visível o efeito da posição do sol, que tem uma trajectória mais elevada a 21 de Junho.

De seguida apresentam-se os resultados relativos ao Edifício Tipo 2 orientado a Sul.

Na Figura 4.51 representam-se os resultados referentes ao FLD para a cozinha do Edifício Tipo 2, com uma fachada, para as 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho. A cozinha está orientada a Norte e a área de envidraçado em relação ao pavimento de 15%.

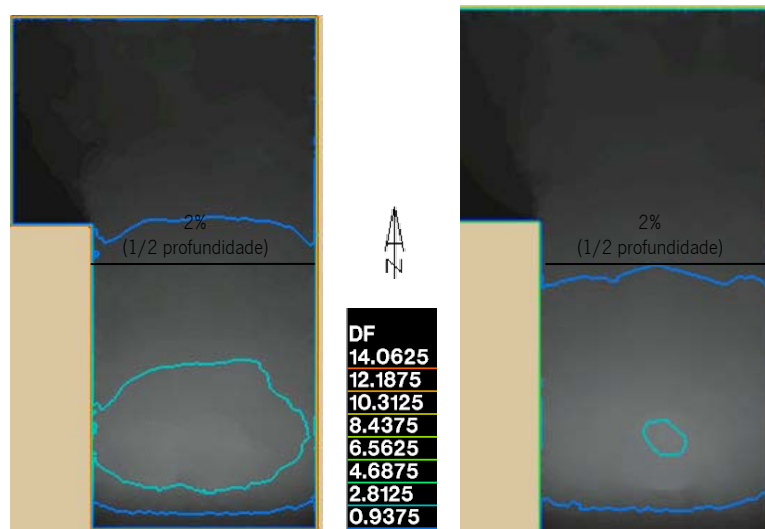


Figura 4.51 – FLD para a cozinha do Edifício Tipo 2, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho

O FLD a metade da profundidade da cozinha é de cerca de 1,2% no dia 21 de Dezembro e de 0,9 no dia 21 de Junho, sendo inferiores ao recomendado.

Na Figura 4.52 podem observar-se os resultados relativos ao FLD para o Quarto 2, do Edifício Tipo 2, orientado a Sul, com um envidraçado com 2 m de altura, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho.

Analisando a Figura 4.52 verifica-se que no Quarto 2 os valores de FLD recomendados são ultrapassados, sendo de cerca de 0,73% no dia 21 de Dezembro e 0,61% no dia 21 de Junho.

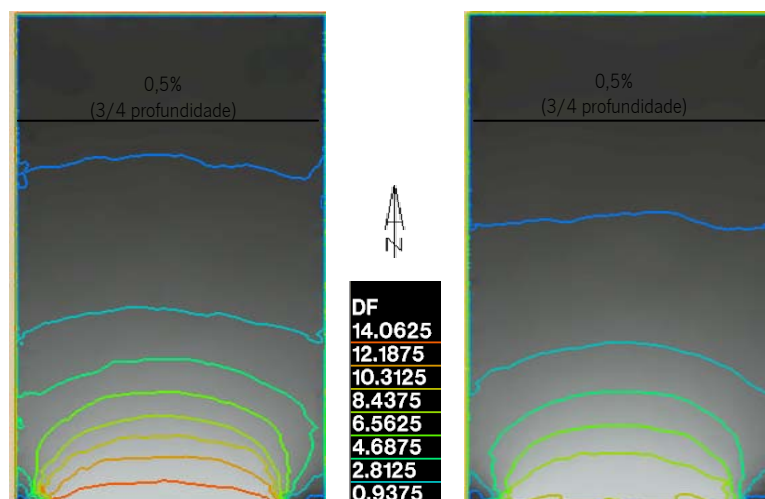


Figura 4.52 – FLD para o Quarto 2 do Edifício Tipo 2, às 12 horas do dia 21 de Dezembro e do dia 21 de Junho

De seguida comparam-se os resultados obtidos para um compartimento com um envidraçado com 1 m de altura com um compartimento com um envidraçado com 2 m de altura.

Na Figura 4.53 apresenta-se uma vista, em perspectiva, das condições de iluminação natural no Quarto 2 do Edifício Tipo 1, com envidraçados com 1 m (à esquerda) e com 2m (à direita) de altura, às 12 horas do dia 21 de Junho.

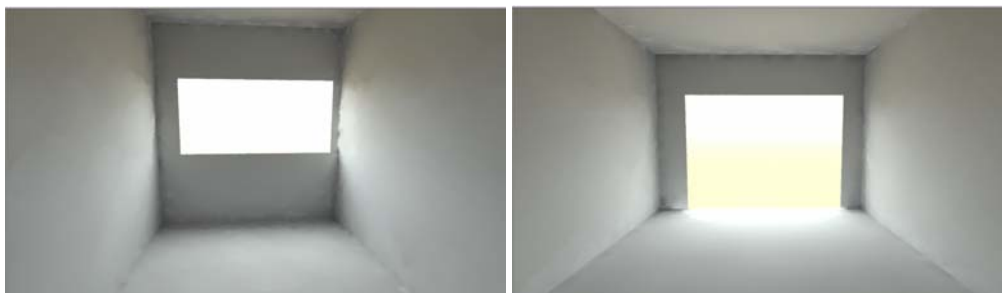


Figura 4.53 – Vista em perspectiva das condições de iluminação natural no Quarto 2 do Edifício Tipo 1, com envidraçados com 1 m (à esquerda) e com 2m (à direita) de altura às 12 horas do dia 21 de Junho

Na Figura 4.54 apresenta-se a comparação entre os FLD no Quarto 2 com envidraçados com 1 m de altura e com 2 m de altura, para o dia 21 de Dezembro.

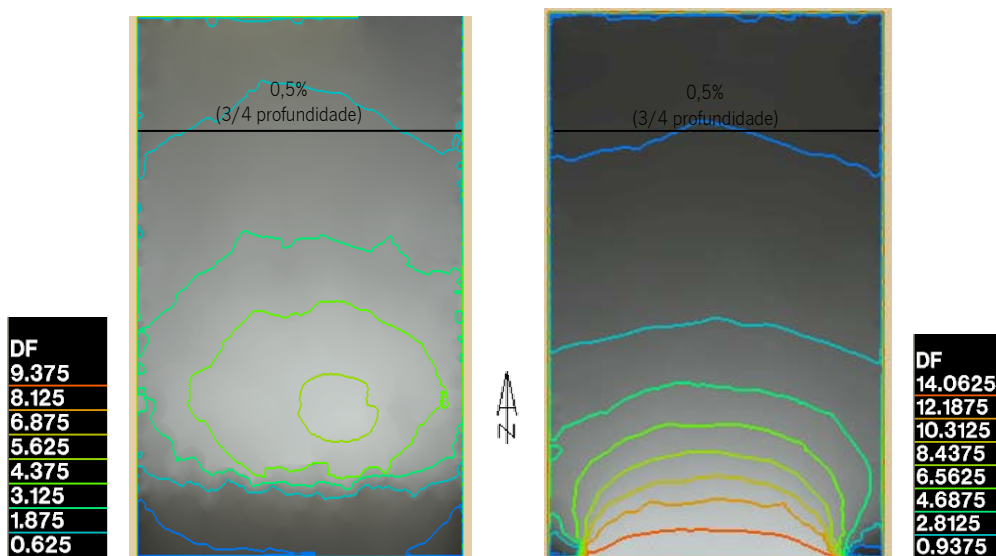


Figura 4.54 – FLD para o Quarto 2 do Edifício Tipo 1, às 12 horas do dia 21 de Dezembro

A Figura 4.54 mostra que em profundidade não existem diferenças significativas no FLD, uma vez que a altura do ponto mais elevado do envidraçado é a mesma. Junto à parede de fachada os valores de FLD são superiores no caso do compartimento com o envidraçado com 2 m de altura, uma vez que no segundo caso o envidraçado tem início junto ao pavimento.

O valor máximo de FLD é de 5,3% para o quarto com o envidraçado com 1 m de altura e de 14,0% para o quarto com o envidraçado com 2 m de altura.

Na Figura 4.55 comparam-se entre os FLD no Quarto 2 com envidraçados com 1 m de altura e com 2 m de altura, para o dia 21 de Junho.

Tal como para o dia 21 de Dezembro também no dia 21 de Junho não existem diferenças significativas no FLD em profundidade, tal como a Figura 4.55 mostra.

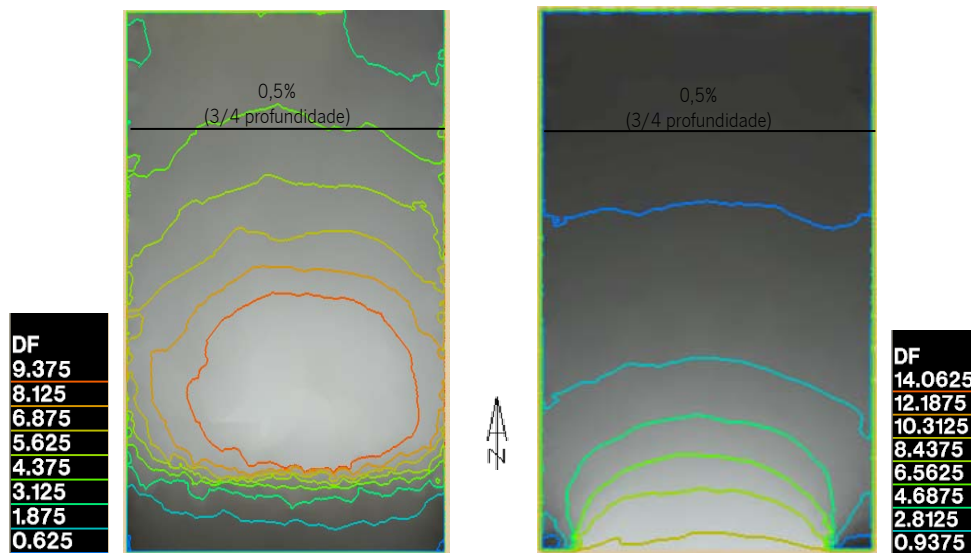


Figura 4.55 – FLD para o Quarto 2 do Edifício Tipo 1, às 12 horas do dia 21 de Junho

Junto à parede de fachada os valores de FLD são superiores no caso do compartimento com o envidraçado com 2 m de altura, uma vez que no segundo caso o envidraçado tem início junto ao pavimento.

O valor máximo de FLD é de 9,3% para o quarto com o envidraçado com 1 m de altura e de 10,3% para o quarto com o envidraçado com 2 m de altura.

Na Figura 4.56 representa-se, em perspectiva, a iluminância no Quarto 2 do Edifício Tipo 1, com um envidraçado de 2 m de altura, às 12 horas do dia 21 de Junho. A iluminância no centro do compartimento é de cerca de 180 lx, valor próximo ao recomendado para uma zona de estar.

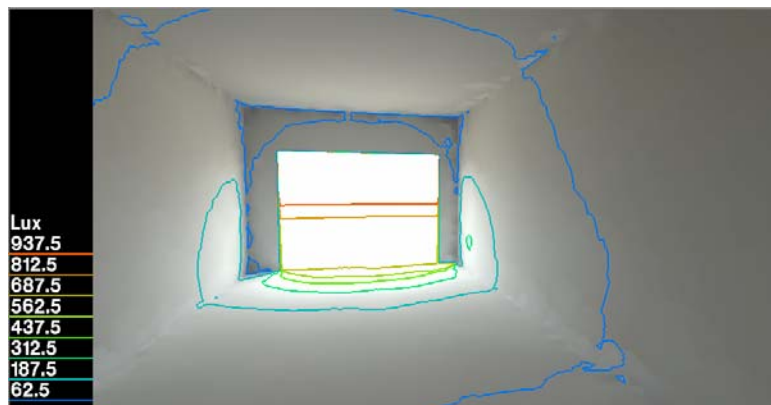


Figura 4.56 – Iluminância no Quarto 2 do Edifício Tipo 1, com envidraçado de 2 m de altura, às 12 horas do dia 21 de Junho

Verifica-se que se devem evitar compartimentos profundos, de modo a assegurar as condições de iluminação natural necessárias ao desenvolvimento das actividades desenvolvidas nesse compartimento.

De seguida apresentam-se os resultados da simulação do comportamento lumínico (condições de iluminação natural) realizada para um conjunto de edifícios do parque habitacional português. As condições de iluminação natural foram também analisadas in situ. Os resultados dessa análise são apresentados no Capítulo 5 e no Anexo IV.

SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO LUMÍNICO NOS EDIFÍCIOS DO PARQUE HABITACIONAL

A simulação do comportamento lumínico dos edifícios foi realizada para o dia 21 de Dezembro, com o céu encoberto, correspondendo às situações mais desfavoráveis.

De seguida apresenta-se o exemplo do Edifício 1. No Anexo III apresenta-se a análise detalhada dos Edifícios 2 a 9. Em geral os compartimentos analisados nos diferentes edifícios foram a cozinha, a sala e um quarto.

Simulação do comportamento lumínico do Edifício 1

No Anexo III apresenta-se a planta de implantação do Edifício 1, onde se representam a orientação e as principais obstruções aos envidraçados dos compartimentos estudados.

As principais considerações para a previsão das condições de iluminação natural no interior dos principais compartimentos do Edifício 1, em função da orientação foram para o dia 21 de Dezembro:

- reflectância da superfície interior das paredes e tectos: 0,60;
- reflectância da superfície interior dos pavimentos: 0,30;
- factor de obstrução dos envidraçados: 0,75;
- reflectância do vidro: 0,7;
- modelo de iluminância do céu: céu encoberto padrão da CIE;
- iluminância do céu: 7000 lx

Na Figura 4.57 apresenta-se o Factor de Luz do Dia para a cozinha com um envidraçado, orientado a SE, localizado na lavandaria adjacente, do Edifício 1.1 representado no Anexo III.

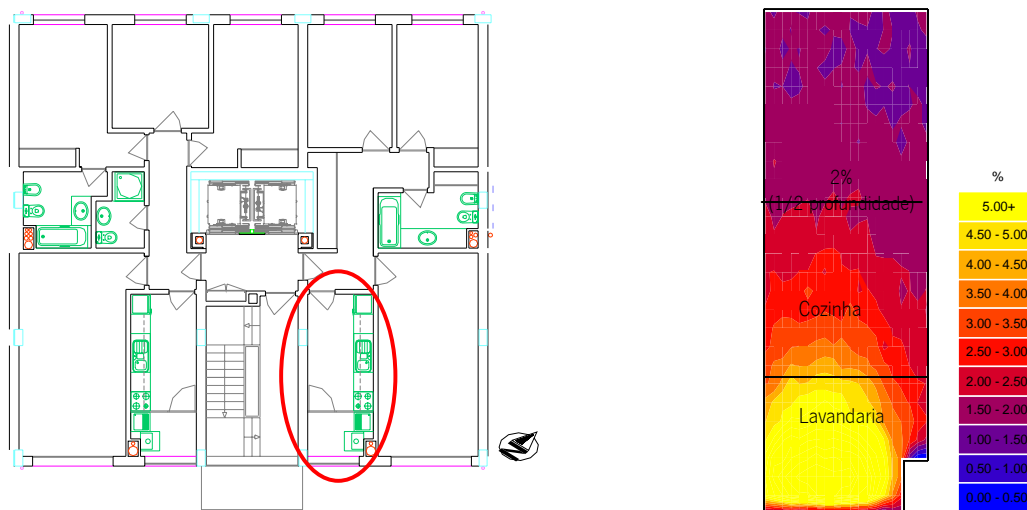


Figura 4.57 – Planta com a representação da cozinha com um envidraçado, localizado na lavandaria, orientado a SE (Edifício 1.1) e representação do Factor de Luz do Dia

Como se pode verificar através da análise da Figura 4.57 o Factor de Luz do Dia, a metade da profundidade da cozinha, é próximo do valor recomendado. No entanto qualquer alteração nas características dos envidraçados ou a inclusão de obstáculos à passagem da luz, como por exemplo a

existência de roupa a secar na lavandaria, pode conduzir a existência de má qualidade das condições de iluminação natural no interior da cozinha.

Assim este tipo de solução arquitectónica, existência de uma lavandaria entre a cozinha e o exterior, muito comum nos edifícios portugueses de diversas épocas, não conduz à existência de boas condições de iluminação natural no interior das cozinhas.

Na Figura 4.58 apresenta-se o Factor de Luz do Dia para a sala comum com dois envidraçados, um orientado a SE e outro SW, e para a sala comum com um envidraçado orientado a SE .

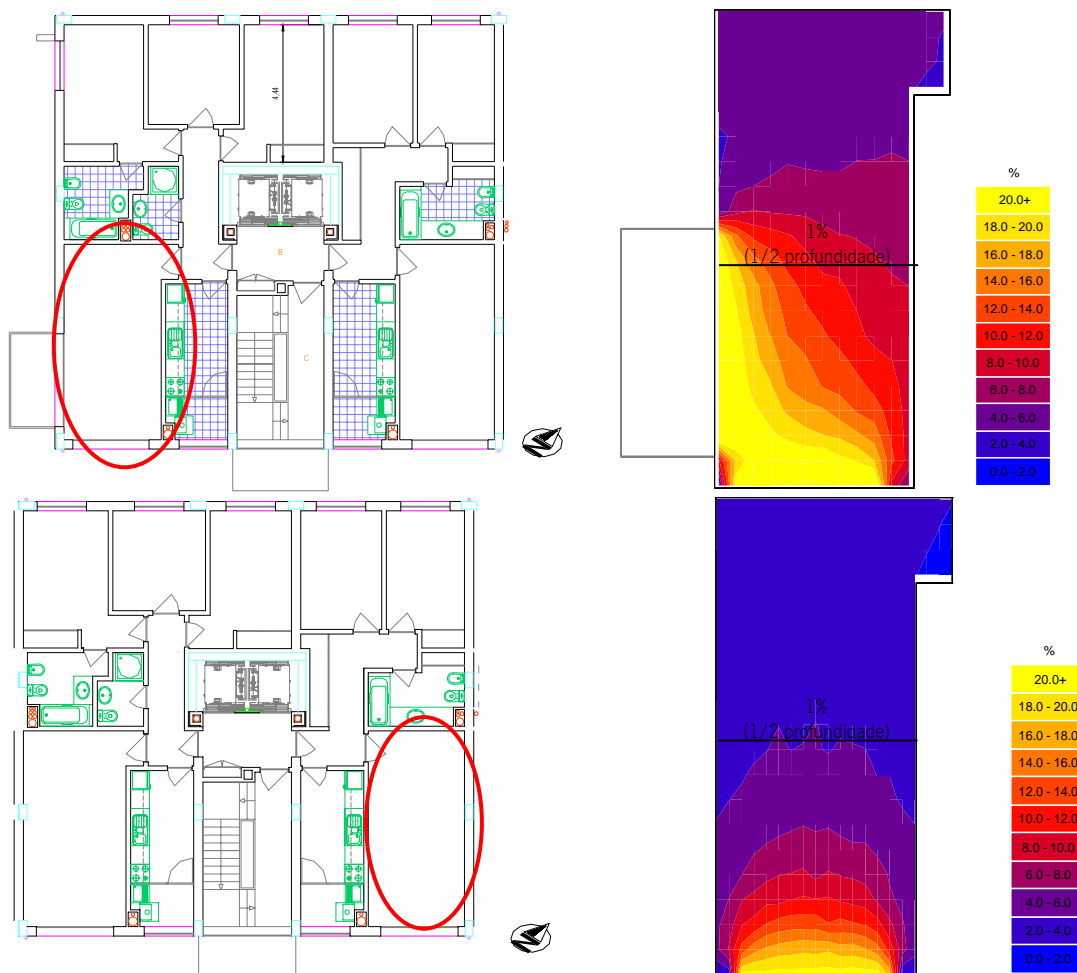


Figura 4.58 – Planta com a representação das salas comum, com dois envidraçados, orientados a SE e SW e com um envidraçado, orientado a SE (Edifício 1.1) e representação do Factor de Luz do Dia

Na Figura 4.59 apresenta-se o Factor de Luz do Dia para a sala comum com dois envidraçados, orientados a SE e NE e para a sala comum com um envidraçado, orientado a NE, pertencentes ao Edifício 1.2.

Tal como mostra a Figura 4.59 o FLD é superior ao valor recomendado a metade da profundidade do compartimento, bem como na globalidade das salas estudadas.

As diferenças associadas à orientação não são significativas, tal como mostram a Figura 4.58 e a Figura 4.59, sendo mais visíveis no compartimento com um envidraçado, sendo a penetração em profundidade no compartimento superior na sala orientada a SE, quando comparada com a sala orientada a NE.

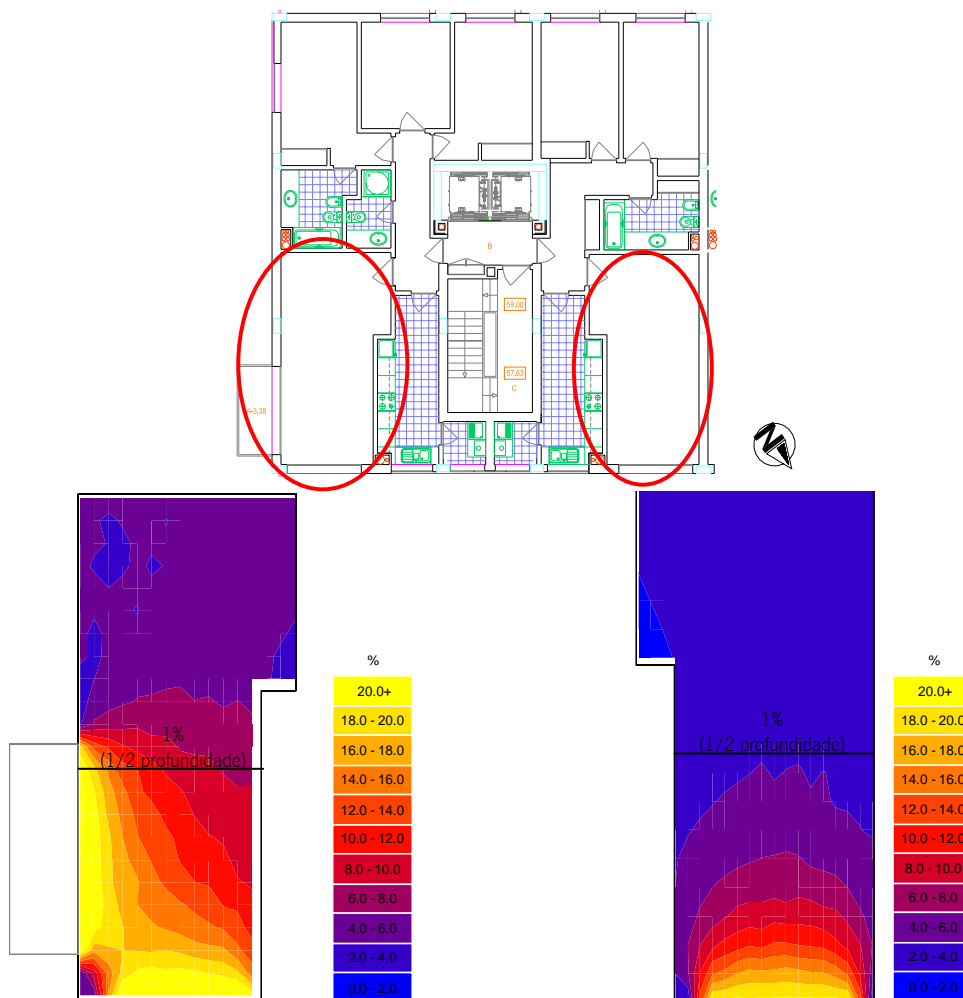


Figura 4.59 – Planta com a representação da sala comum, com dois envidraçados, orientados a SE e NE e da sala comum, com um envidraçado, orientado a NE (Edifício 1.2) e representação do FLD

Na Figura 4.60 apresenta-se o Factor de Luz do Dia para o quarto com um envidraçado, orientado a NW pertencente ao Edifício 1.1.



Figura 4.60 – Planta com a representação do quarto com um envidraçado orientado a NW (Edifício 1.1) e representação do Factor de Luz do Dia respectivo

No quarto, orientado a Noroeste, o FLD previsto é superior ao valor recomendado pela CIE na generalidade do compartimento, sendo os valores elevados registados junto ao envidraçado de 10% (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Na Figura 4.61 apresenta-se o Factor de Luz do Dia para o quarto com um envidraçado, orientado a SW (Edifício 1.2).

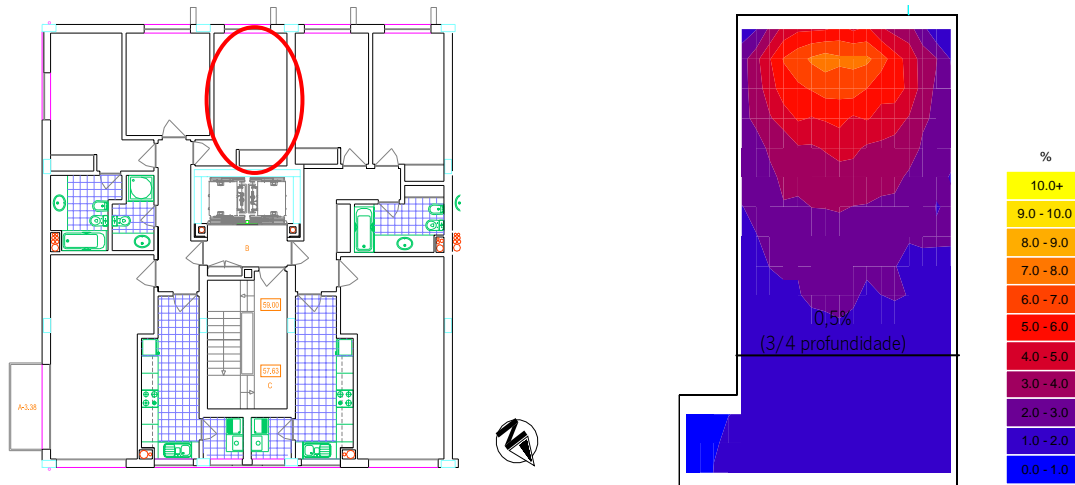


Figura 4.61 – Planta com a representação do quarto com um envidraçado, orientado a SW (Edifício 1.2), estudado e representação do Factor de Luz do Dia

Como se pode verificar na Figura 4.61 o valor recomendado pela CIE é também cumprido no quarto orientado a Sudoeste (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

A penetração da iluminação natural é superior no quarto orientado a NW, envidraçado (porta) com 2,0 m de altura, do que no quarto com o envidraçado orientado a SW, que tem 1,0 m de altura (janela a 0,9 m).

Simulação do comportamento lumínico da Habitação 2.1

Os valores de iluminância na sala 2.1 variam entre 160 lx e cerca de 280 lx, valores são próximos ao valor recomendado pela CIE, como era de esperar os valores são superiores junto ao envidraçado (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Os valores de FLD, eram superiores junto ao envidraçado, como seria de esperar, sendo cumpridas as recomendações da CIE (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

O Quarto 2.1 apresentava valores de iluminância bastante baixos, inferiores a 124 lx, sendo as faixas laterais as zonas menos iluminadas, com valores de iluminância da ordem de 24 lx. Este facto deve-se à forma do envidraçado, de largura reduzida, que não permite a entrada de luz suficiente para as zonas laterais.

Os valores de FLD rondavam os 0,5% a 3/4 da profundidade do compartimento, respeitando o recomendado (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Através dos resultados obtidos verificou-se que o nível de iluminância disponível na Cozinha 2.1 não era suficiente para garantir o valor recomendado (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005). Os valores são mais elevados junto ao envidraçado, baixando rapidamente para valores de cerca de 120 lx a meio do compartimento.

Os valores de FLD rondam os 2% a metade da profundidade da cozinha, estando de acordo com os valores recomendados (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005). No entanto a existência de obstáculos na lavandaria pode reduzir estes valores.

Simulação do comportamento lumínico da Habitação 3

Os valores de iluminância na Sala 3 variavam entre 1500 e cerca 510 lx, sendo que na maior parte da área do compartimento a iluminância se mantém acima dos 200 lx. Estes valores são próximos ao valor recomendado.

A existência de envidraçados orientados a Sul e a Oeste, com área elevada, conduziam à existência de valores de FLD superiores ao recomendado na Sala 3 (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Na maior parte da área do Quarto 3 os níveis de iluminância variam entre 190 lx, sendo o valor mínimo previsto de 140 lx.

Em relação aos resultados relativos ao FLD verificou-se que os valores obtidos, cerca de 2%, são superiores ao recomendado, 0.5% a 3/4 de profundidade do compartimento (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Os valores de FLD na Cozinha 3 eram inferiores ao recomendado, variando entre 1.7 e 1.2% a meio do compartimento. Através dos resultados obtidos para os níveis de iluminância na Cozinha 3 verificou-se que os níveis de iluminação natural disponíveis neste espaço não são suficientes para assegurar a qualidade recomendada.

Simulação do comportamento lumínico da Habitação 4

Os valores de iluminância na Sala 4, estes variavam entre 520 lx e 120 lx, sendo de 160 lx na maior parte da área do compartimento. Os valores de FLD previstos eram superiores aos valores recomendados (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Os resultados da simulação obtidos para a Sala 4 mostraram que esta tem um bom comportamento lumínico. Os valores de iluminância variam entre 170 e 200 lx na maioria da área do compartimento.

O valor de FLD recomendado para uma sala é de 1% a metade do comprimento do compartimento, sendo este valor ultrapassado (2,9%) na Sala 4

Na maior parte do Quarto 4 os valores de iluminância são inferiores a 116 lx. Em relação ao FLD o Quarto 4 apresentava um valor superior ao valor recomendado, sendo o valor de FLD de 0.8% a 3/4 de profundidade.

As iluminâncias previstas para a Cozinha 4 são muito inferiores aos recomendados sendo de 54 lx na generalidade do espaço. Os valores de FLD previstos para a Cozinha 4, também são inferiores ao recomendado, sendo cerca 0,8% a meio do compartimento.

Simulação do comportamento lumínico da Habitação 5.1

A Sala 5.1 apresentava, de acordo com a simulação efectuada, em grande parte da sua área, valores de iluminância de 72 lx, menos de metade do valor recomendado (200 lx). Os resultados da simulação relativos ao FLD mostravam que as recomendações relativas a este factor são respeitadas (1% a metade do comprimento do compartimento).

O nível de iluminância previsto para a generalidade da área do Quarto 5.1 era de 200 lx, sendo os superiores observados nas zonas próximas aos envidraçados. O FLD previsto para o Quarto 5.1 é superior ao valor recomendado, contribuindo para tal a existência de um segundo envidraçado próximo do fundo do compartimento.

Na Cozinha 5.1 as condições de iluminação natural, caracterizadas através da iluminância eram desadequadas. O valor previsto para a generalidade do compartimento era de 40 lx, sendo recomendado para um espaço deste tipo 300 lx (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005). A lavandaria é um obstáculo à penetração da iluminação natural na cozinha.

Os valores de FLD previstos eram também inferiores ao recomendado, sendo de cerca de 0,6% a meio do compartimento.

Simulação do comportamento lumínico da Habitação 6.1

O valor da iluminância previsto para a Sala 6.1 era próximo ao recomendado apenas na zona junto ao envidraçado. Em cerca de 3/4 do comprimento do compartimento a valor de iluminância é de 130 lx, inferior aos 200 lx recomendados (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

O valor de FLD a meio do compartimento era 1,90%, sendo superior ao recomendado (1%).

Através da análise realizada verificou-se que os níveis de iluminância previstos para o Quarto 6.1 eram baixos, sendo inferiores a 116 lx em mais de metade da área do quarto.

Os FLD previstos para o Quarto 6.1 eram superiores aos valores recomendados (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Verificou-se ainda que os níveis de iluminância na Cozinha 6.1 eram inferiores ao recomendado (200 lx) na maior parte da área do compartimento, o que o FLD era próximo ao valor recomendado para o centro do compartimento (2%).

Simulação do comportamento lumínico da Habitação 7.1

Os resultados da simulação mostraram que a Sala 7.1 tem um bom comportamento lumínico. Os valores de iluminância variavam entre 170 e 200 lx na maioria da área do compartimento. O valor de FLD recomendado para uma sala é de 1% a metade do comprimento do compartimento, sendo este valor ultrapassado (2,9%).

Os valores de iluminância previstos para o Quarto 7.1 eram de 160 lx e o FLD obtido era superior ao valor recomendado, sendo de 2,3% na maior parte da área do compartimento

Através da análise dos resultados da simulação realizada verificou-se que os níveis de iluminância na Cozinha 7.1 eram inferiores a 139 lx, valor inferior ao recomendado (200 lx), sendo os valores de FLD obtidos pela simulação, 1,9%, próximos ao valor recomendado (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Simulação do comportamento lumínico de Habitações unifamiliares isoladas (Habitação 10, Habitação 11)

Nos diversos compartimentos da Habitação 10 e da Habitação 11 estudados (salas, quartos e cozinhas) verificou-se que os valores do FLD cumpriam as recomendações da CIE (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Análise dos resultados da simulação do comportamento lumínico dos edifícios do parque habitacional

Das habitações estudadas quatro delas possuem geometria semelhante no que diz respeito à cozinha. As Habitações 1.1 e 1.2 e as Habitações 2.1, 5.1 e 6.1 possuem todas cozinhas estreitas e profundas.

Nos casos, em que existe uma lavanderia entre a cozinha e o exterior, existem envidraçados na parede divisória entre estes compartimentos. Esta solução é fácil de implementar, mas com ela os valores recomendados para o FLD não são atingidos.

Comparando a Cozinha 6.1, sem lavanderia, com a Cozinha 5.1, com lavanderia, com geometria semelhante em geometria e construída na mesma época, a primeira apresenta valores de FLD próximos do recomendado (1,6 em comparação com 0,6), verifica-se que a existência de uma lavanderia entre a cozinha e o exterior não é desejável.

Relacionando a cozinha da Habitação 3 (com 2,3 m² de área de envidraçado) com a da Habitação 4 (com 1,4 m² de área de envidraçados), ambas de forma quadrangular, verifica-se que na primeira as condições de iluminação natural são adequadas, mas na segunda não. Na Cozinha 3 a área de envidraçado em relação à área de pavimento é de 12%, e na Cozinha 4 é de 8%.

Aumentando a área de envidraçados na Cozinha 4 de 1,4 m² para 2,1 m², aumentando a largura, passando a área de envidraçado em relação à área de pavimento, SRAE, para 12%, obtêm-se os resultados apresentados na Figura 4.62.

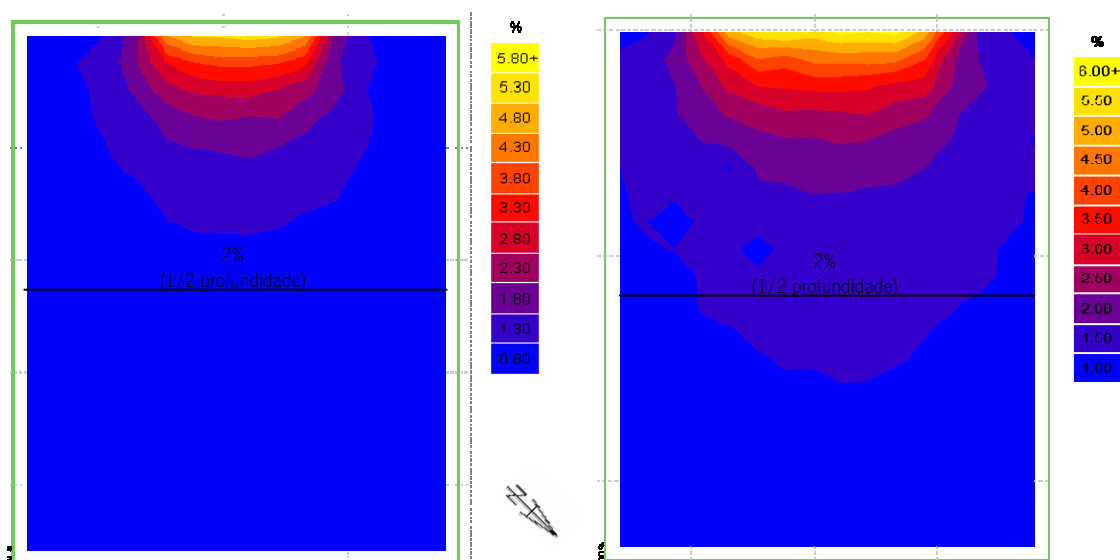


Figura 4.62 - Simulação das condições de iluminação natural na Cozinha 4 com área de envidraçado superior

Analisando a Figura 4.62 verifica-se que com um aumento da área do envidraçado em 33% (0,7 m²) o desempenho do compartimento em relação à iluminação natural melhora de forma significativa. Apesar de o FLD aumentar apenas 0,2% a penetração da iluminação natural no compartimento é maior, melhorando as condições de iluminação natural, sendo respeitados os valores recomendados.

O quarto da Habitação 2.1, com um envidraçado a Sudeste possui uma pala horizontal, foi estudada a situação em que esta não existisse, sendo os resultados obtidos para o FLD apresentados na Figura 4.63.

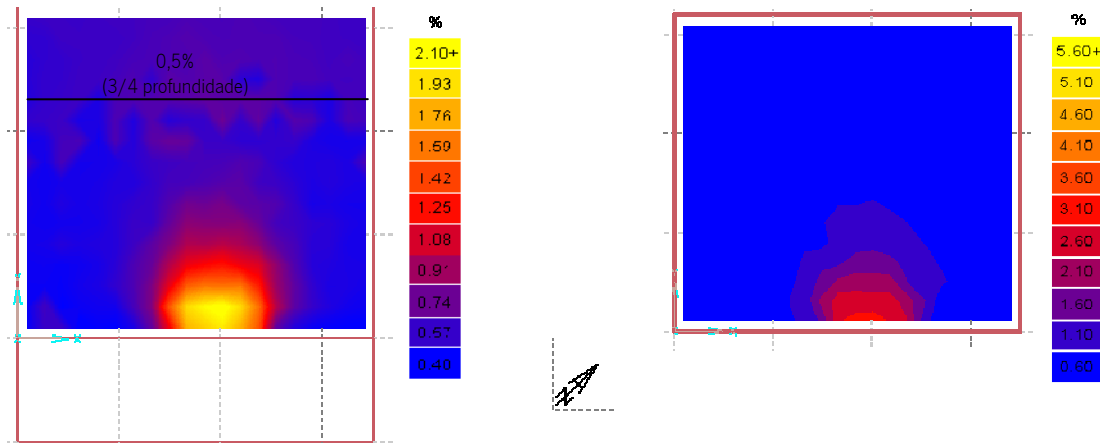


Figura 4.63 – Valores de FLD para o Quarto 1 sem pala horizontal

Os valores de FLD na generalidade do compartimento passam de 0,4% para 0,6%, respeitando os valores recomendados pela CIE (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Para a sala da Habitação 5.1, um compartimento profundo, foi também estudado o comportamento lumínico do compartimento, com a mesma área de envidraçado, mas com uma altura superior, esta situação é apresentada à direita na Figura 4.64, à esquerda é apresentada a situação inicial.

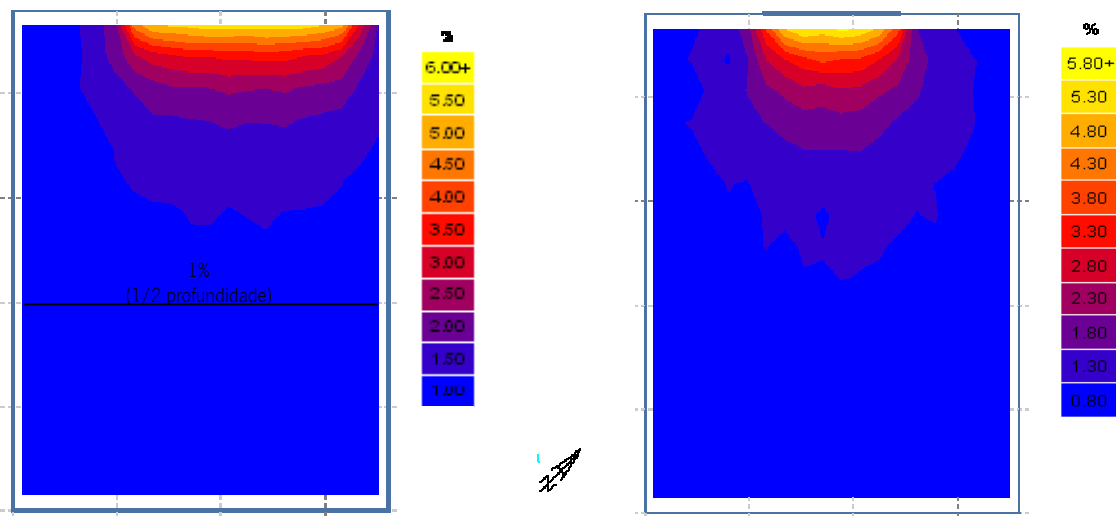


Figura 4.64 – Valores de FLD para a Sala 5.1 com altura de envidraçado superior

Com esta alteração o FLD na maior parte da área do compartimento diminui, aumentando a penetração em profundidade, como mostra a Figura 4.64.

Através do estudo realizado foi possível verificar a importância da área, geometria e localização do envidraçado em função da geometria do compartimento em análise.

O tipo de dispositivo de sombreamento, em especial o tipo de elementos interiores, por exemplo o tipo de cortinas (opacas, transparentes, muito transparentes e a sua cor) é um factor muito importante a considerar e, em geral não é conhecido em fase de projecto.

No entanto, sendo um sistema móvel é sempre possível melhorar as condições de iluminação através do controlo da sua utilização e da sua substituição por outro sistemas mais adequado.

A existência de lavandarias entre a cozinha e o exterior é o principal factor para a inexistência de condições de iluminação natural adequadas no interior das cozinhas.

A existência de compartimentos profundos é outro factor que afecta negativamente as condições de iluminação natural.

Verificou-se com a análise efectuada que, em geral as condições de iluminação natural são suficientes, excepto em compartimentos profundos e quando existe uma lavandaria entre o exterior e a cozinha.

CAPÍTULO 5 - Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados in situ em alguns edifícios portugueses.

Tal como referido no Capítulo 2 o conceito de Qualidade do Ambiente Interior, definido como o conjunto de características do ambiente no interior de um dado edifício que influenciam a saúde e conforto dos seus ocupantes, engloba um conjunto de parâmetros: o conforto térmico; o conforto lumínico; o conforto acústico; a Qualidade do Ar Interior; a ergonomia e a estética dos espaços. Dos parâmetros supracitados foram avaliados os quatro primeiros, de acordo com o estabelecido na EN 15251.

Os parâmetros referidos podem ser afectados por vários factores, nomeadamente, o local de implantação do edifício, a geometria do mesmo, a concepção da envolvente, o tipo de ocupação, as actividades nele realizadas, os hábitos dos ocupantes, os materiais existentes, os produtos de limpeza utilizados, o tipo e a quantidade de iluminação existente, os sistemas de climatização, entre muitos outros.

Assim foi seleccionado um conjunto de edifícios de habitação de modo a caracterizar o parque habitacional português, tanto em tipo (unifamiliar e multifamiliar), tipologia (T1 e T3) como em soluções construtivas (também associada à data de construção).

Foram realizadas medições para caracterizar as condições de conforto térmico, através da medição da temperatura ambiente, da temperatura do bolbo negro, humidade relativa e velocidade do ar. A actividade metabólica e a resistência térmica dos ocupantes foram caracterizadas, para os diferentes espaços estudados, sendo determinado o valor médio para os diversos ocupantes.

As condições de iluminação natural foram avaliadas através da medição do nível de iluminância, interior e exterior, sendo posteriormente calculado o Factor de Luz do Dia.

As concentrações de poluentes (dióxido e monóxido de carbono, ozono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis, partículas respiráveis e radão foram medidas para caracterizar a qualidade do ar interior.

Foi também caracterizado o conforto acústico, através da medição do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A ($L_{eq,A}$) no interior das diversas habitações estudadas.

Foi ainda avaliada a percepção dos ocupantes das habitações no que concerne à importância relativa de cada um destes parâmetros para a qualidade do ambiente interior dos edifícios.

Foram também realizados ensaios acústicos para a avaliação do isolamento acústico a sons de condução aérea e de percussão, de elementos da envolvente interior e exterior, de edifícios com diferentes soluções construtivas.

No Anexo IV descreve-se a metodologia e os resultados da avaliação realizada nas diversas habitações estudadas. De seguida apresentam-se os resultados mais relevantes obtidos com o estudo realizado para caracterizar das condições higrotérmicas, acústicas, lumínicas e de Qualidade do Ar Interior dos edifícios.

5.1 Avaliação do Comportamento Higrotérmico

A avaliação do comportamento higrotérmico é importante para a avaliação das condições de conforto térmico no seu interior. O conforto térmico, tal como o conforto acústico e lumínico é subjectivo e depende da herança pessoal, socioeconómica e cultural dos ocupantes e da sua aclimatização, pode ser

baseada em critérios físicos mensuráveis, descritos na literatura especializada e nas normas internacionais.

A avaliação das condições higrotérmicas e do conforto térmico de um edifício pode ser realizada através de medições in situ dos valores da humidade relativa, da temperatura ambiente e da temperatura das superfícies envolventes, ou em alternativa da temperatura do bolbo negro, que tem em consideração a temperatura superficial dos elementos da envolvente.

No estudo efectuado foram medidas a temperatura ambiente, a temperatura do bolbo negro e a humidade relativa.

5.1.1 Critérios de Desempenho Higrotérmico

Os critérios de desempenho higrotérmico são definidos na regulamentação e normalização internacional e nacional. Em relação ao conforto térmico destacam-se as normas: ASHRAE 55 de 2004, EN ISO 7730 de 2005 e da EN ISO 7726 de 1998. A nível de edifícios de habitação existem três regulamentos em Portugal: o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei 80/2006), o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (Decreto-Lei 79/2006) e o Decreto-Lei 78/2006, relativo à Certificação energética de Edifícios. O segundo aplica-se apenas a edifícios habitacionais no caso de apresentarem sistemas de climatização com potencia superior a 25KW, situação em que é necessário o cumprimento simultâneo do RRAE e do RSECE.

Valores Recomendados para a Temperatura e a Humidade Relativa

Para actividades desenvolvidas em edifícios residenciais, as temperaturas e humidade relativa recomendadas encontram-se na

Tabela 2.1 (RCCTE, 2006; Tuomisto, 2009).

No Anexo IV descreve-se a metodologia e os resultados da avaliação realizada nas diversas habitações estudadas. De seguida apresentam-se os resultados da avaliação das condições de conforto in situ realizadas.

5.1.2 Resultados da avaliação do comportamento higrotérmico in situ

Para a medição do conforto térmico, efectuou-se a medição da temperatura do ar, da humidade relativa, da temperatura do bolbo negro e da velocidade do ar, de acordo com o definido pelas normas EN ISO 7726, EN ISO 7730 e EN 15251.

Edifício 2 - Habitação 2.1

Na Habitação 2.1 a temperatura ambiente medida no interior era de aproximadamente 19°C e 52% de humidade relativa e no exterior de 14°C. Verificou-se que os ocupantes se encontravam numa situação de conforto próximo de ligeiramente frio (PMV de -0,5, na sala, -0,6 na cozinha e -0,4 no quarto). Nestas condições cerca de 10% dos ocupantes estavam descontente com o ambiente térmico.

Edifício 3 - Habitação 3

Na Habitação 3 a temperatura ambiente registada foi de aproximadamente 19°C (18,4°C na sala, 18,8°C na cozinha e 19,8°C no quarto) e a humidade relativa de 53%, o céu estava encoberto e no exterior a temperatura era de 12°C.

A percentagem de pessoas descontentes era de 10,2% (PMV = -0,5) na sala e no quarto e de 7% (PMV = -0,3) no quarto, variando a sensação de conforto entre o ligeiramente frio e o neutro.

Edifício 4 - Habitação 4

Aquando da realização das medições na Habitação 4 a temperatura ambiente exterior era de 12°C e o dia apresentava-se chuvoso. No interior a temperatura no interior da sala era de 20,8°C (PMV = - 0,1 e PPD = 5%), devido à existência de uma lareira com recuperador de calor, na cozinha a temperatura registada foi de 18°C (PMV = - 0,8 e PPD = 18,5%) e no quarto cerca de 17°C (PMV = -1,0 e PPD = 26%).

Na sala a condição térmica era próxima do neutro, na cozinha próximo do ligeiramente frio e no quarto de ligeiramente frio.

Verifica-se assim que sem um sistema de aquecimento e sem ganhos solares as condições de conforto térmico para as condições de inverno são de desconforto ligeiro, correspondendo a situações de arrefecimento, sensação de ligeiramente frio.

Edifício 5 - Habitação 5.1

A temperatura média exterior medida aquando da realização das medições na Habitação 5.1 era próxima dos 12°C e o céu apresentava-se encoberto. Na sala e na cozinha a temperatura ambiente medida era de aproximadamente 17 °C, sendo a humidade relativa de 65,4% e 61,5% respectivamente. No quarto a temperatura medida foi de apenas 15°C a humidade relativa era de aproximadamente 72%.

Na sala e na cozinha a sensação térmica dos ocupantes era de ligeiramente frio e cerca de 22% (PMV = - 0,9) e 40% (PMV = -1,3) de descontentes, respectivamente.

Os ocupantes do Quarto 5.1, para as condições registadas, encontravam-se num estado de desconforto situado entre o ligeiramente frio e o frio (PMV = - 1,3 e PPD = 40%).

Edifício 6 - Habitação 6.1

As medições para a caracterização das condições de conforto térmico na Habitação 6.1 foram efectuadas num dia de céu encoberto, vento fraco e temperatura média exterior de 15°C. A temperatura ambiente interior medida na sala, na cozinha e no quarto foi de aproximadamente 22°C e a humidade relativa de 34%. Nestas condições os ocupantes encontravam-se numa situação de conforto térmico (PMV = 0 e PPD = 5% na sala e na cozinha e PMV = - 0,2 e PPD = 6%).

Edifício 7 - Habitação 7.1

A temperatura ambiente exterior era de 15°C e o céu estava encoberto no dia em que as medições na Habitação 7.1 foram realizadas.

A temperatura ambiente média registada na sala foi de 19,7°C e de 19,5 na cozinha, a humidade relativa medida na sala foi de 40% na sala e de cerca de 50% na cozinha. No quarto as temperaturas medidas eram inferiores, cerca de 18,8 % e a humidade relativa medida era de 47%.

As condições térmicas medidas na Sala 7.1 proporcionavam um estado de conforto térmico situado próximo do ligeiramente frio (PMV = - 0,4 e PPD = 8%), o mesmo acontecendo na cozinha (PMV = - 0,5 e PPD = 10%) e no quarto (PMV = - 0,6 e PPD = 12%).

Edifício 8 - Habitação 8.1 e Habitação 8.2

O Edifício 8 é um edifício multifamiliar com dois andares, orientado a Sul. A Habitação 8.1 é uma habitação de tipologia T3+1, com 110,8 m², situado no rés-do-chão, com envidraçados com caixilharia de alumínio de correr com vidro duplo e persianas plásticas de cor branca. A Habitação 8.2, de tipologia T3, com 105,0 m², situa-se no 1º e possui envidraçados com caixilharia giratória de alumínio com vidro duplo e persianas plásticas de cor branca.

Na Habitação 8.1 e a Habitação 8.2 possuem lareira na cozinha e na sala comum. A lareira na cozinha da Habitação 8.1 possui um recuperador de calor e é utilizada diariamente durante o inverno, na Habitação 8.2 as lareiras são utilizadas apenas esporadicamente.

A Habitação 8.1 possui um sistema de aquecimento (radiadores eléctricos), com o termostato regulado nos 18°C, funcionando durante o período de ocupação, entre as 18h e as 8h. Na Habitação 8.2 não existiam sistemas de aquecimento em funcionamento aquando da realização das medições.

As medições para a caracterização das condições de conforto térmico foram efectuadas em dias de céu limpo, com vento fraco e temperatura média exterior de 14°C no Inverno e de 27°C no Verão.

De seguida apresentam-se os resultados obtidos da avaliação da situação de conforto térmico nos três compartimentos analisados de cada uma das habitações.

Sala 8.1

Na Figura 5.1 e na Figura 5.2 apresentam-se os valores medidos de temperatura ambiente (a traço contínuo) e humidade relativa (a traço ponto), na Sala 8.1, para o Inverno e para o Verão, respectivamente, ao longo do período de medição.

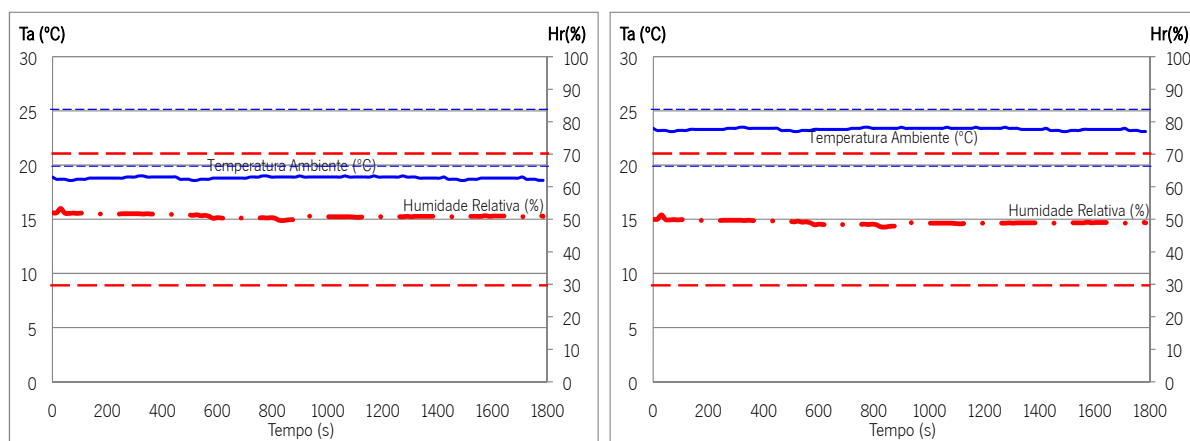


Figura 5.1 – Condições higrotérmicas no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) na sala da Habitação 8.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Na Tabela 5.1 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na sala da Habitação 8.1 ao longo do período de medição.

Tabela 5.1 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 8.1

	Inverno			Verão		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,6	18,8	19,0	23,1	23,3	23,5
Temperatura do bolbo negro (°C)	17,3	18,1	18,6	25,3	25,5	25,9
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,021	0,030	0,000	0,050	0,061
Humidade relativa (%)	49,6	51,0	53,3	47,6	49,0	51,3
Vestuário (clo)		1,0			0,5	
Metabolismo (met)		1,2			1,2	
Calculado						
Temperatura resultante (°C)		18,4			25,0	
PMV		- 0,7			0,0	
PPD (%)		15,3			5,0	

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas de Inverno na Sala 8.1, apresentados na Figura 5.1 e na Tabela 5.1, é possível verificar que a temperatura ambiente, cerca de 19°C, era próxima à temperatura de referência definida pelo RCCTE para as condições de Inverno. De Inverno a humidade relativa, cerca de 51%, encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%). Para o dia de Verão a temperatura ambiente e a humidade relativa (Figura 5.1 e Tabela 5.1) encontravam-se dentro da gama de valores recomendados pelo RCCTE.

Na Figura 5.2 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados na Sala 8.1

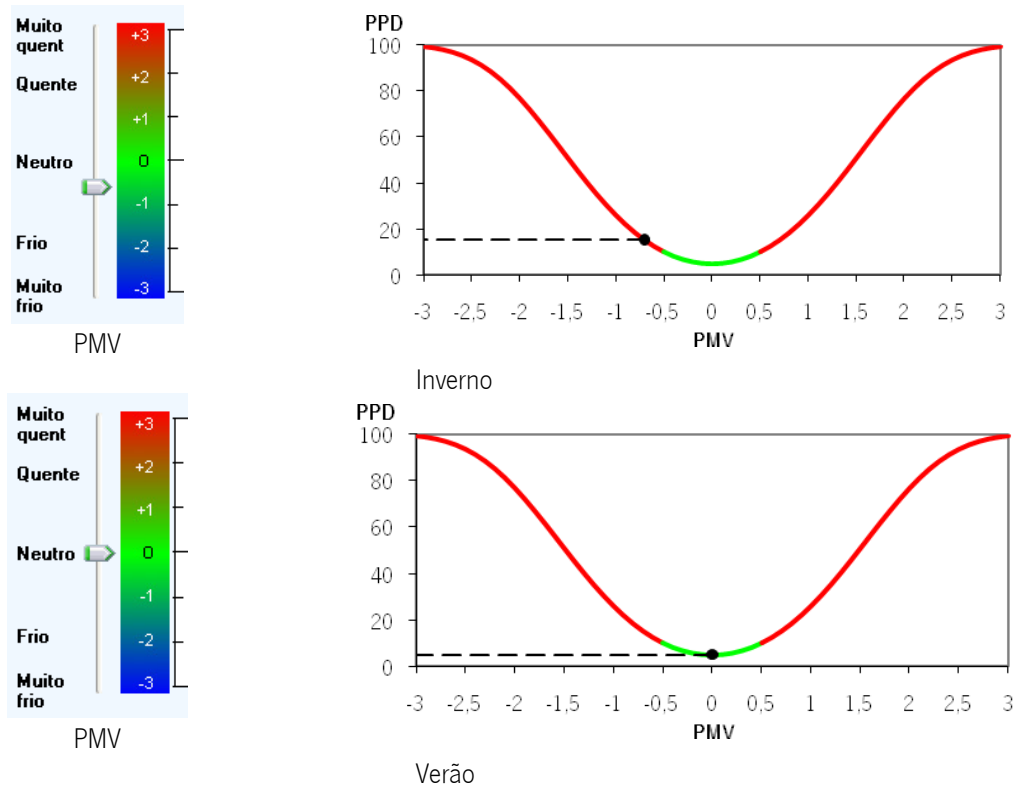


Figura 5.2 – Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 8.1

A Figura 5.2 mostra que as condições térmicas registadas na Sala 8.1 proporcionavam um estado de conforto térmico entre o ligeiramente frio e o frio no Inverno e neutro no Verão.

Cozinha 8.1

Os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos na Cozinha 8.1 ao longo do período de medição são apresentados na Figura 5.3 para um dia de Inverno e para um dia de verão.

Na Tabela 5.2 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na Cozinha 8.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

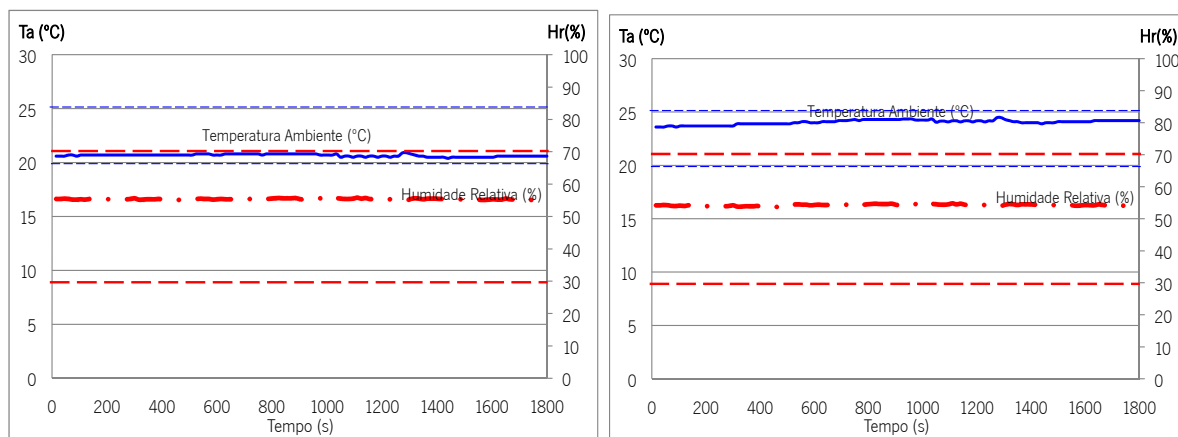


Figura 5.3 – Condições higrotérmicas de Inverno (à esquerda) e de Verão (à direita) na cozinha da Habitação 8.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela 5.2 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 8.1

	Inverno			Verão		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	20,4	20,7	20,9	23,6	24,1	24,5
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,2	18,3	18,7	23,8	24,8	24,7
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,005	0,060	0,000	0,030	0,050
Humidade relativa (%)	49,3	51,2	54,1	53,6	54,2	55,1
Vestuário (clo)		1,0			0,5	
Metabolismo (met)		1,2			1,2	
Calculado						
Temperatura resultante (°C)		19,3			24,6	
PMV		- 0,4			0,0	
PPD (%)		8,3			5,0	

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na Cozinha 8.1 (Figura 5.3 e Tabela 5.2), é possível concluir que temperatura ambiente, da ordem dos 20,7°C, era superior ao valor de referência definida pelo RCCTE para o inverno. No Verão (Figura 5.3 e Tabela 5.2) a temperatura ambiente é próxima do valor de referência definido no RCCTE para a estação de arrefecimento. A humidade relativa medida é da ordem do 50%, tanto no Inverno como no Verão, encontrando-se no do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

Na Figura 5.4 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Cozinha 8.1.

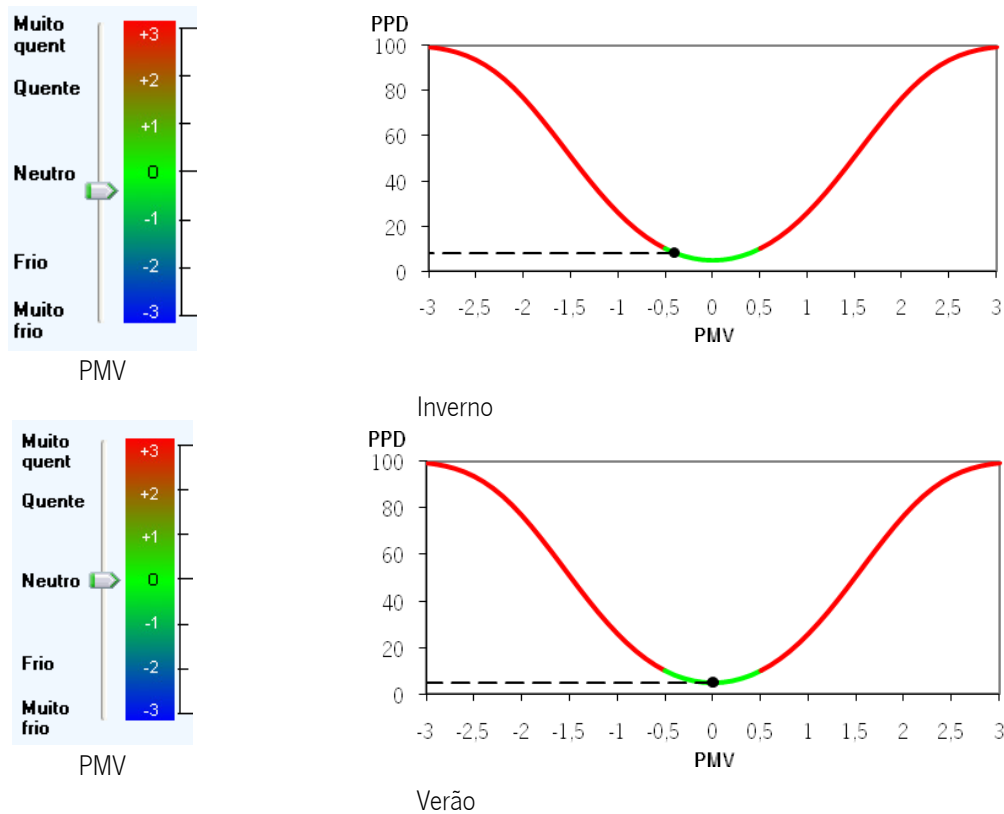


Figura 5.4 – Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 8.1

Verifica-se através da análise da Figura 5.4 que os ocupantes da Cozinha 8.1 estão num estado de conforto térmico situado próximo do ligeiramente frio no Inverno e em estado neutro no Verão.

Quarto 8.1

Na Figura 5.5 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos no Quarto 8.1 no Inverno e no Verão.

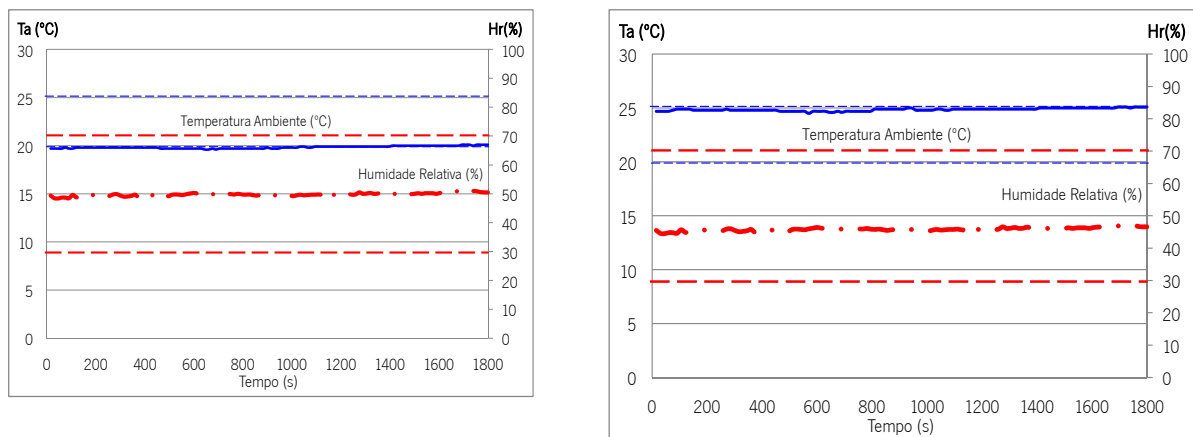


Figura 5.5 – Condições higrotérmicas no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) no Quarto 8.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Na Tabela 5.3 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos no Quarto 8.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Tabela 5.3 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 8.1

	Inverno			Verão		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	19,6	19,8	20,1	24,5	24,9	25,1
Temperatura do bolbo negro (°C)	17,7	18,2	18,5	25,1	25,6	25,9
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,004	0,030	0,0	0,014	0,040
Humidade relativa (%)	48,4	49,8	51,0	44,5	45,9	47,1
Vestuário (clo)		1,0			0,5	
Metabolismo (met)		1,2			1,2	
Calculado						
Temperatura resultante (°C)		18,9			25,4	
PMV		- 0,5			0,2	
PPD (%)		10,2			5,8	

Os resultados referentes às condições higrotérmicas no Quarto 8.1, apresentados na Figura 5.5, mostram a temperatura ambiente, sendo o valor mínimo registado de 19,6°C, sendo este valor próximo ao valor recomendado para o inverno pelo RCCTE. A Figura 5.5 mostra que a temperatura ambiente é próxima ao valor de referência definido pelo RCCTE para o Verão. A humidade relativa encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30 a 70%), tanto no Verão como no Inverno.

Na Figura 5.6 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para o Quarto 8.1.

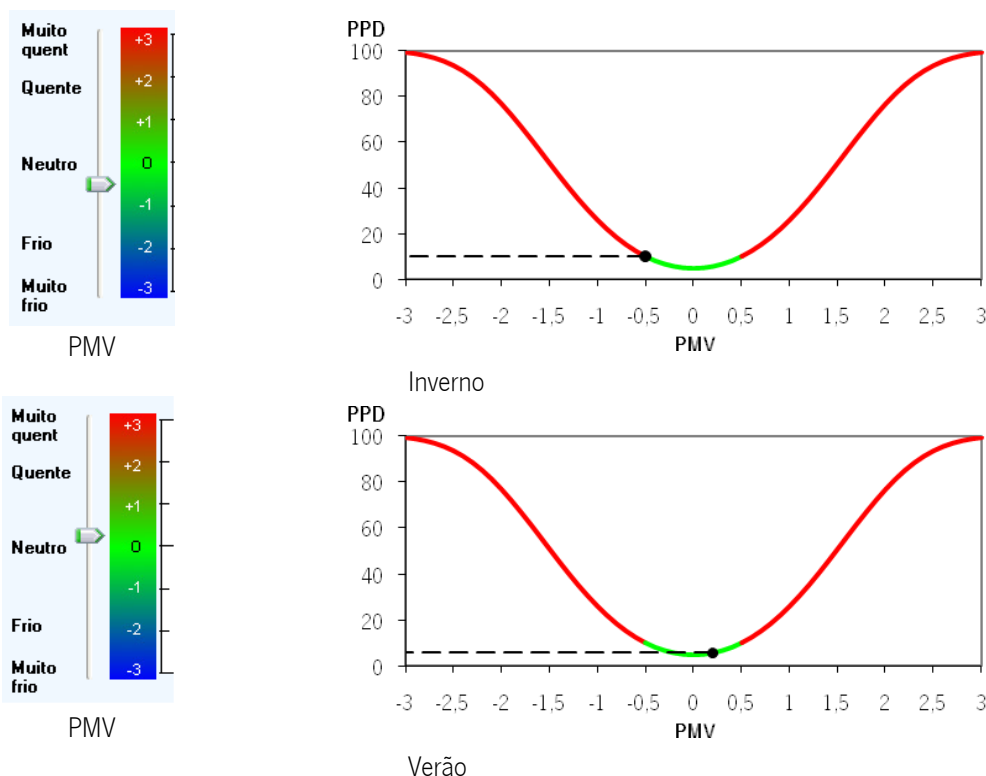


Figura 5.6 – Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 8.1

Verifica-se através da análise da Figura 5.6 que os ocupantes do Quarto 8.1 se encontravam num estado de conforto térmico correspondente a uma sensação entre o neutro e o ligeiramente frio no Inverno e entre o neutro e o ligeiramente quente de Verão.

Sala 8.2

Na Figura 5.7, para o Inverno e para o Verão, apresentam-se os valores medidos de temperatura ambiente (a traço contínuo) e humidade relativa (a traço ponto), na Sala 8.2, com envidraçados orientados a Norte e a Este, ao longo dos dois períodos de medição.

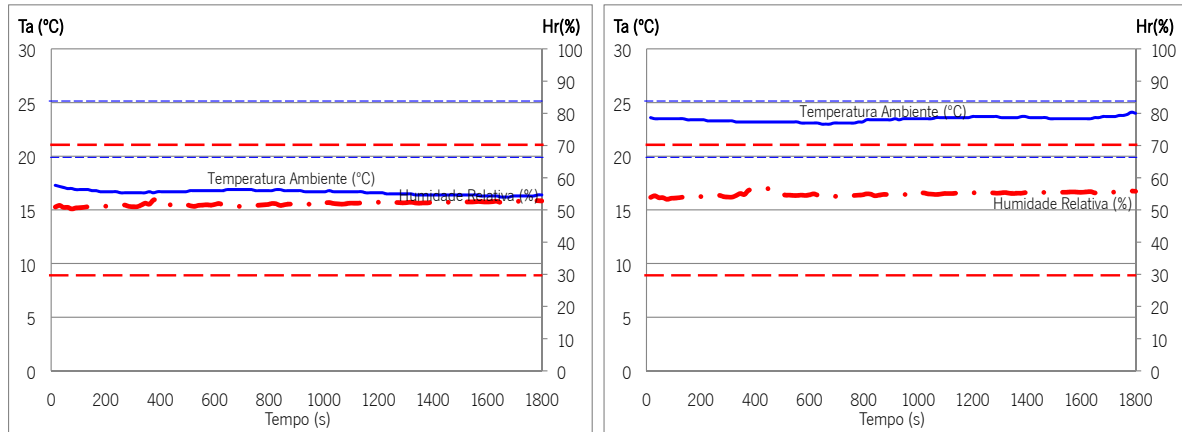


Figura 5.7 – Condições higrotérmicas de Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) na sala da Habitação 8.2 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Na Tabela 5.4 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na sala da Habitação 8.2 ao longo do período de medição.

Tabela 5.4 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 8.2

	Inverno			Verão		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	16,2	16,6	17,3	23,0	23,4	24,1
Temperatura do bolbo negro (°C)	16,3	17,0	17,5	21,1	25,1	25,8
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,016	0,020	0,010	0,033	0,052
Humidade relativa (%)	50,3	51,9	53,4	53,3	55,0	56,6
Vestuário (clo)		1,0			0,5	
Metabolismo (met)		1,2			1,2	
Calculado						
Temperatura resultante		16,9			24,6	
PMV		- 1,0			0,0	
PPD		26,1			5,0	

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas de Inverno na Sala 8.2, apresentados na Figura 5.7 e na Tabela 5.4, é possível verificar que temperatura ambiente média, cerca de 16,6°C, era inferior à temperatura de referência definida pelo RCCTE para o Inverno. A humidade relativa, cerca de 52%, encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%).

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas de verão na Sala 8.2, apresentados na Figura 5.7 e na Tabela 5.4, é possível verificar que temperatura ambiente média, cerca de 23°C, era inferior à temperatura de referência definida pelo RCCTE para o Verão. A humidade relativa, cerca de 55%, encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%).

Na Figura 5.8 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Sala 8.2.

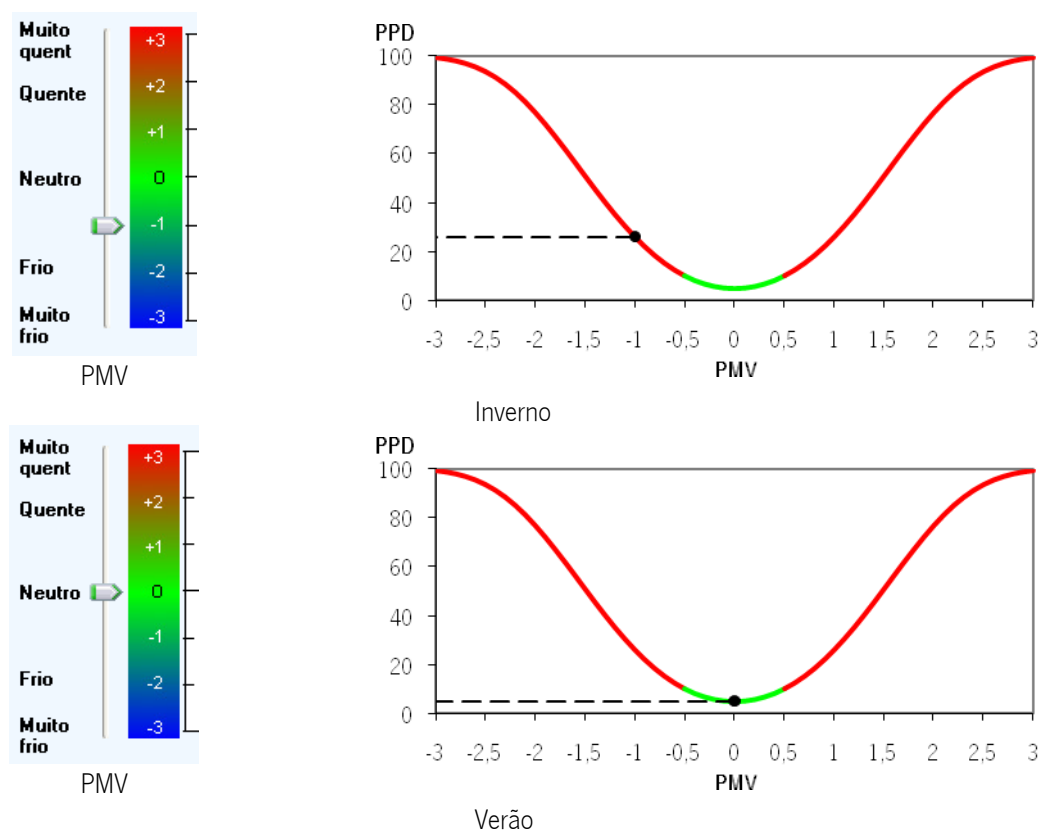


Figura 5.8 – Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 8.2

Verifica-se através da análise da Figura 5.8 que as condições térmicas medidas na Sala 8.2 proporcionavam um estado de conforto térmico correspondente a uma sensação de ligeiramente frio de Inverno e neutro no Verão.

Cozinha 8.2

Na Figura 5.9 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos na Cozinha 8.2, com envidraçados orientados a Norte e a Oeste, no Inverno e no Verão, respectivamente, o longo dos períodos de medição.

Na Tabela 5.5 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na Cozinha 8.2 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados, para o Inverno e para o verão.

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na Cozinha 8.2 (Figura 5.9 e Tabela 5.5), é possível verificar que temperatura ambiente de Inverno, 18,1°C, era próxima do valor de referência e, de Verão, 23,5°C, estava de acordo com os valores de referência definidos pelo RCCTE.

A humidade relativa medida é de aproximadamente de 54%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

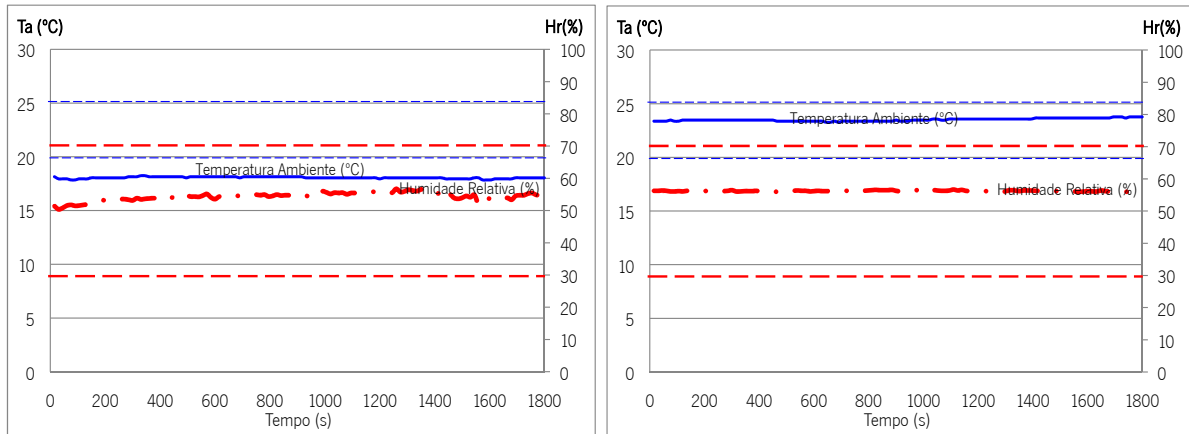


Figura 5.9 – Condições higrotérmicas de Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) na cozinha da Habitação 8.2 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela 5.5 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 8.2

	Inverno			Verão		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	17,9	18,1	18,3	23,3	23,5	23,8
Temperatura do bolbo negro (°C)	15,9	16,1	16,9	24,6	25,1	25,5
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,005	0,060	0,000	0,004	0,03
Humidade relativa (%)	50,4	54,3	56,8	55,9	56,2	57,0
Vestuário (clo)		1,0			0,5	
Metabolismo (met)		1,2			1,2	
Calculado						
Temperatura resultante (°C)		17,0			24,7	
PMV		- 0,9			0,0	
PPD (%)		22,1			5,0	

Na Figura 5.10 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Cozinha 8.2, verificando-se que os ocupantes da Cozinha 8.2 estão num estado de conforto térmico correspondente a ligeiramente frio de Inverno e neutro de Verão.

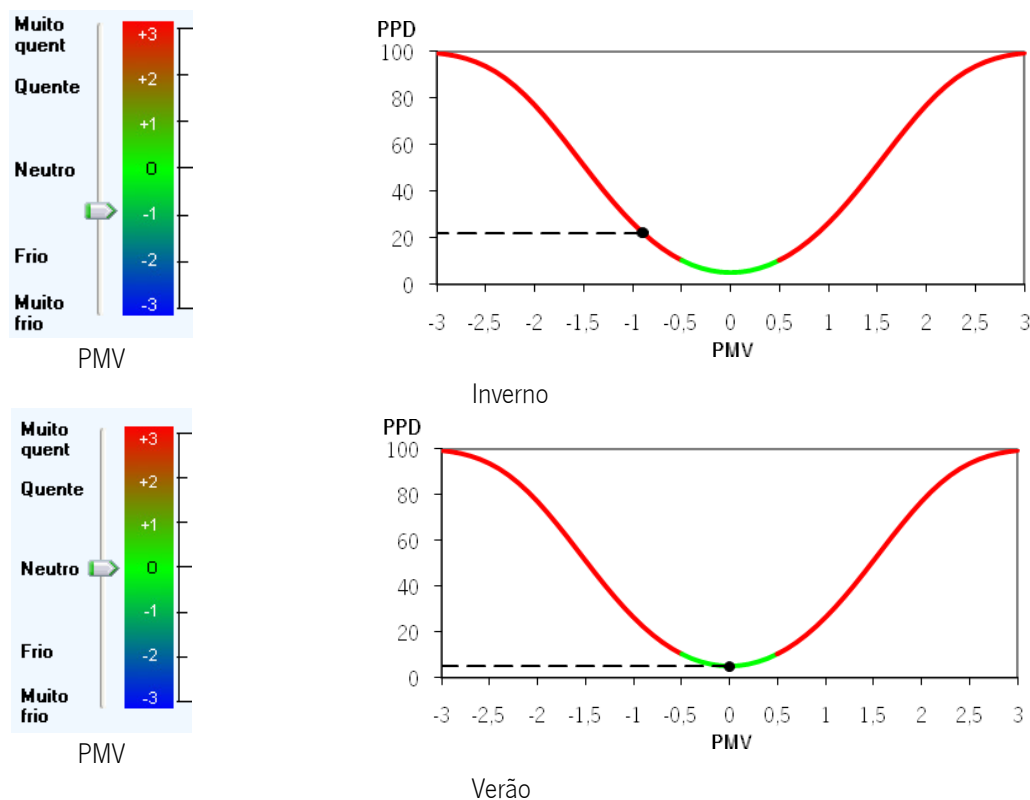


Figura 5.10 – Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 8.2

Quarto 8.2

Na Figura 5.11 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos no Quarto 8.2, durante os períodos de medição correspondentes à situação de Inverno e de Verão.

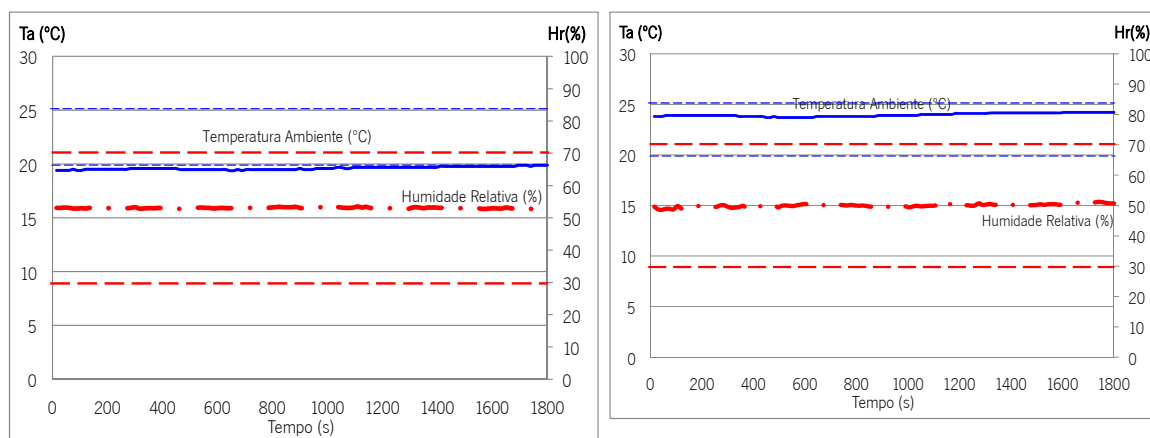


Figura 5.11 – Condições higrotérmicas para o Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) no Quarto 8.2 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Na Tabela 5.6 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos no Quarto 8.2 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Os resultados referentes às condições higrotérmicas de Inverno no Quarto 8.2 orientado a Sul, apresentados na Figura 5.11 e na Tabela 5.6, mostram a temperatura ambiente registada, sendo o valor

mínimo de 18,5°C, próximo do valor recomendado para o inverno pelo RCCTE. Os ganhos solares e a inércia térmica do edifício possibilitam a existência de uma temperatura ambiente próxima dos valores de referência sem o recurso a sistemas de aquecimento.

De Verão (Figura 5.11 e Tabela 5.6) a inércia térmica e a utilização dos sistemas de sombreamento (persianas de plástico) possibilita a existência de temperaturas na ordem dos 24°C, valores de acordo com o limite estabelecido no RCCTE para a estação de arrefecimento. A humidade relativa encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%), tanto de Inverno como de Verão.

Tabela 5.6 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 8.2

	Inverno			Verão		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	19,4	19,6	19,9	23,2	24,1	23,7
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,5	18,9	19,1	24,3	24,8	25,9
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,004	0,030	0,000	0,005	0,050
Humidade relativa (%)	52,7	53,0	53,8	48,6	50,0	51,2
Vestuário (clo)		1,0			0,5	
Metabolismo (met)		1,2			1,2	
Calculado						
Temperatura resultante (°C)		19,2			24,5	
PMV		- 0,5			0,0	
PPD (%)		10,2			5,0	

Na Figura 5.12 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para o Quarto 8.2.

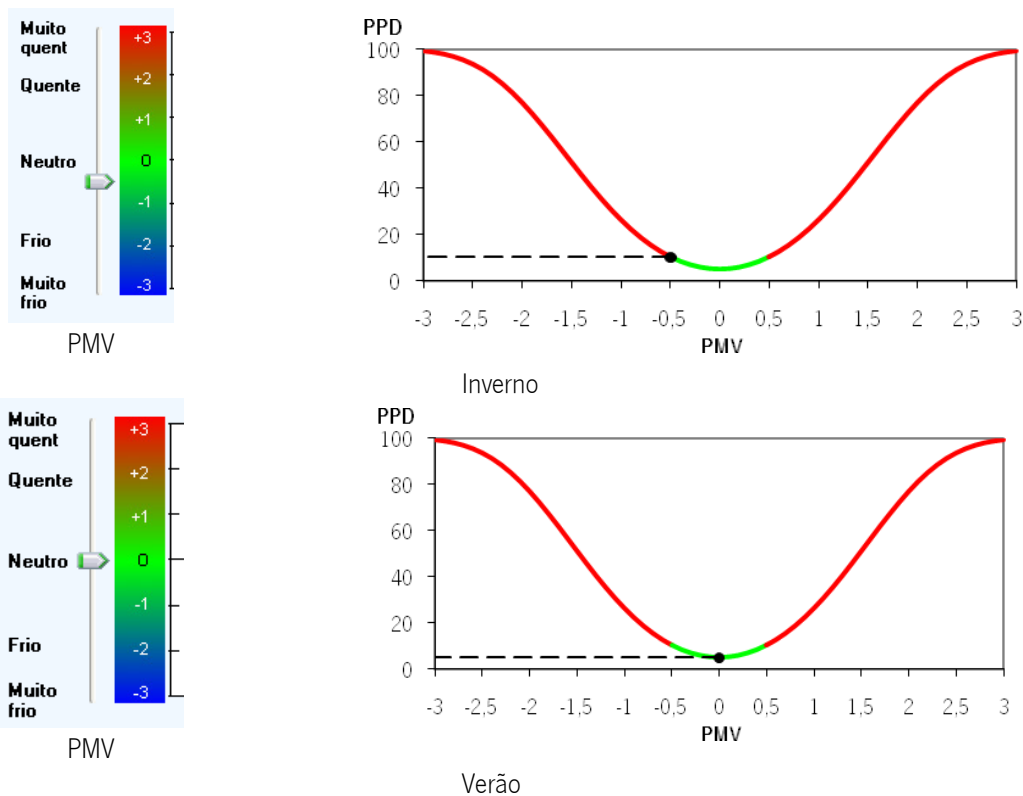


Figura 5.12 – Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 8.2

Verifica-se através da análise da Figura 5.12 que os ocupantes do Quarto 8.2 se encontravam num estado de conforto térmico correspondente a uma sensação de ligeiramente frio de Inverno e neutra de Verão.

Na Tabela 5.7 apresenta-se de forma resumida os dados relativos à avaliação da situação de conforto térmico dos ocupantes, de Inverno, obtidos para os Edifícios 2 a 8.

A situação de Verão, analisada no Edifício 8 (Habitação 8.1 e 8.2) é apresentada na Tabela 5.8.

A análise da Tabela 5.7 permite-nos verificar que na generalidade das habitações a situação de conforto térmico, no Inverno, varia entre o neutro e o ligeiramente frio, excepto no Quarto 5.1, em que o PMV é de -1,3, correspondendo a uma sensação térmica entre o ligeiramente frio e o frio.

A Tabela 5.8 mostra que de Verão, de acordo com as medições realizadas, que os ocupantes do Edifício 8 se encontravam numa situação de neutralidade térmica, ou próxima, caso do Quarto 8.1.

Tabela 5.7 – Dados relativos à avaliação da situação de conforto térmico dos ocupantes para os diversos compartimentos avaliados nos Edifícios 2 a 8, para o Inverno

Edifício	Compartimento	Ta (°C)	Hr (%)	Tr (°C)	PMV	PPD
2.1	Sala 2.1	19,0	51,0	19,2	-0,5	10,2
	Quarto 2.1	19,6	51,6	19,5	-0,4	8,3
	Cozinha 2.1	18,6	52,2	18,7	-0,6	12,5
3	Sala 3	18,4	49,4	19,2	-0,5	10,2
	Quarto 3	19,8	55,4	20,1	-0,3	6,9
	Cozinha 3	18,8	53,6	19,0	-0,5	10,2
4	Sala 4	20,8	51,2	21,1	-0,1	5,2
	Quarto 4	16,9	55,3	17,0	-1,0	26,1
	Cozinha 4	18,0	51,9	18,0	-0,8	18,5
5.1	Sala 5.1	17,2	65,4	16,9	-0,9	22,1
	Quarto 5.1	15,1	71,8	15,3	-1,3	40,3
	Cozinha 5.1	17,0	61,5	17,1	-0,9	22,1
6.1	Sala 6.1	21,9	32,4	21,9	0,0	5,0
	Quarto 6.1	21,0	34,4	21,0	-0,2	5,8
	Cozinha 6.1	21,7	35,7	21,8	0,0	5,0
7.1	Sala 7.1	19,7	40,1	20,0	-0,4	8,3
	Quarto 7.1	18,8	47,0	18,8	-0,6	12,3
	Cozinha 7.1	19,5	45,9	19,5	-0,5	10,2
8.1	Sala 8.1	18,8	51,0	18,4	-0,7	15,3
	Quarto 8.1	19,8	49,8	18,9	-0,5	10,2
	Cozinha 8.1	20,7	51,2	19,3	-0,4	8,3
8.2	Sala 8.2	16,6	51,9	16,9	-1,0	26,1
	Quarto 8.2	19,6	53,0	19,2	-0,5	10,2
	Cozinha 8.2	18,1	54,3	17,0	-0,9	22,1

Tabela 5.8 – Dados relativos à avaliação da situação de conforto térmico dos ocupantes para os diversos compartimentos avaliados no Edifício 8, para o Verão

Edifício	Compartimento	Ta (°C)	Hr (%)	Tr (°C)	PMV	PPD
8.1	Sala 8.1	23,3	49,0	25,0	0,0	5,0
	Quarto 8.1	24,9	45,9	25,4	0,2	5,8
	Cozinha 8.1	24,1	54,2	24,6	0,0	5,0
	Sala 8.2	23,4	55,0	24,6	0,0	5,0
	Quarto 8.2	24,1	50,0	24,5	0,0	5,0
	Cozinha 8.2	23,5	56,2	24,7	0,0	5,0

Verificou-se através das medições realizadas, que de inverno, em edifícios correntes, sem ou com ganhos solares reduzidos, é difícil existirem condições de conforto térmico se não existirem sistemas de aquecimento.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação da qualidade do ar interior realizada.

5.2 Avaliação In Situ da Qualidade do Ar Interior (QAI)

A avaliação da QAI dos edifícios foi realizada através da realização de medições in situ de um conjunto de parâmetros, associados a poluentes químicos (CO₂, CO, COV, formaldeído, partículas respiráveis, ozono e radão). Os factores microbiológicos (bactérias, fungos e legionela) não foram medidos.

5.2.1 Critérios de Desempenho

Para a realização da avaliação de QAI foram consideradas as recomendações da Nota Técnica NT-SCE-02 “Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE”, que define os poluentes a medir, as metodologias de ensaios e as características dos equipamentos utilizados (NT-SCE-02, 2009).

As concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios de serviços são apresentadas na Tabela 2.17, sendo estes os valores adoptados (NT-SCE-02, 2009).

Neste ponto apresentam-se os resultados obtidos através das medições para as oito habitações avaliadas, ao nível dos seis poluentes em estudo (monóxido de carbono, dióxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, ozono, formaldeído e partículas suspensas). Para cada poluente em cada compartimento são estudadas as suas possíveis origens e indicadas estratégias de mitigação.

Para além do estudo dos poluentes é apresentada uma análise ao nível dos parâmetros humidade relativa e temperatura, comparando-os com os valores de referência para estes indicados pelo RCCTE. Esta comparação visa compreender se estes dois parâmetros físicos estão a influenciar negativamente a qualidade do ar interior das habitações.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação da Qualidade do Ar Interior de edifícios realizada. No Anexo IV apresentam-se os dados relativos às medições realizadas com mais detalhe.

Edifício 2 - Habitação 2.1

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal desta habitação é de 1,10 h⁻¹.

Na Habitação 2.1 foi detectada a presença de monóxido de carbono na cozinha, devido aos processos de combustão do fogão e do esquentador, no quarto e na sala, em pequenas concentrações.

A concentração de dióxido de carbono medida na sala, no quarto e na sala era superior ao valor máximo de referência definido no RSECE.

As medições da concentração dos compostos orgânicos voláteis totais na Habitação 2.1 detectaram a presença de pequenas condensações.

Na cozinha e na sala da Habitação 2.1 não foi detectada presença de formaldeído, no entanto, a concentração registada no quarto ultrapassava os valores máximos de referência.

A cozinha desta habitação é o único local de todos os compartimentos estudados onde se verifica a presença de ozono. Este facto tem origem, possivelmente, em reacções ionizantes decorrentes dos vários electrodomésticos existentes no espaço (fogão, frigorífico, microondas, esquentador, etc.).

A concentração de partículas suspensas no ar detectadas nos compartimentos desta habitação não era muito alta.

Existiam três poluentes cujas concentrações medidas ultrapassavam, para a Habitação 2.1, os limites regulamentares impostos pelo RSECE, o dióxido de carbono, os compostos orgânicos voláteis e o formaldeído. O dióxido de carbono apresenta valores superiores a 1800 mg/m^3 em todos os compartimentos. Os compostos orgânicos voláteis por sua vez ultrapassam o valor limite de $0,6 \text{ mg/m}^3$ apenas no quarto, assim como o formaldeído que também ultrapassa o máximo regulamentar no quarto.

Nenhum dos outros poluentes apresentou, durante as medições efectuadas, valores que excediam os respectivos limites de referência.

Edifício 3 - Habitação 3

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal desta habitação é de $0,95 \text{ h}^{-1}$.

Foram detectadas pequenas concentrações de monóxido de carbono na cozinha e no quarto da Habitação 3, devido aos processos de combustão que ocorrem na cozinha e devido ao facto de fumarem no quarto. Não foi detectada a presença de monóxido de carbono na sala da Habitação 3.

As concentrações de dióxido de carbono medidas na Habitação 3, com 7 ocupantes, são ligeiramente superiores aos valores máximos de referência (1800 mg/m^3).

Na cozinha 3 foram medidas concentrações de compostos orgânicos voláteis próximos dos valores máximos de referência. No quarto e em especial na sala os valores de $\text{COV}_{\text{totais}}$ são superiores aos valores máximos de referência.

Na Habitação 3 não foi detectada a presença de formaldeído nem de ozono.

As concentrações de partículas respiráveis medidas na Habitação 3 eram inferiores aos valores máximos de referência.

Na Habitação 3 verificou-se que os valores regulamentares das concentrações de dióxido de carbono e de compostos orgânicos voláteis totais, definidos no Decreto-Lei n.º 79/2006, eram ultrapassados em todos os compartimentos estudados.

Edifício 4 - Habitação 4

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal desta habitação é de $0,95 \text{ h}^{-1}$.

Na cozinha e no quarto não foi registada a existência de monóxido de carbono, no entanto, na sala, devido à existência de uma lareira, com recuperador de calor, as concentrações de monóxido de carbono oscilavam entre 0 e $1,164 \text{ mg/m}^3$.

A concentração de dióxido de carbono medida na cozinha é inferior ao valor regulamentar. No quarto e na sala a concentração de CO₂ é superior ao valor máximo regulamentar. Na sala a concentração de CO₂ ultrapassa as 300 mg/m³, devido à ocupação, 5 pessoas e à lareira, com recuperador de calor em funcionamento.

Embora em concentrações baixas, verificou-se que, na altura em que se efectuaram as medições existiam compostos orgânicos voláteis na Cozinha 4 e no Quarto 4. Na Sala 4 a concentração de COV_{Totais} é próxima do valor máximo regulamentar.

Na Habitação 4 não foi detectada a presença de formaldeído nem de ozono.

As medições de PM₁₀ detectaram, para o caso da Cozinha 4, Quarto 4 e Sala 4 uma pequena concentração deste poluente.

Na Habitação 4, apenas a concentração de dióxido de carbono, no quarto e na sala ultrapassou o valor limite imposto regulamentarmente.

Edifício 5 - Habitação 5.1

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal da Habitação 5.1 é de 1,00 h⁻¹.

Não foi detectada a presença de monóxido de carbono na cozinha nem no quarto da Habitação 5.1, durante as três medições efectuadas. Na Sala 5.1 foram detectadas pequenas concentrações de monóxido de carbono.

As concentrações de CO₂ medida na Habitação 5.5, em especial no quarto, são superiores aos valores limites regulamentares. Uma das causas para a existência de dióxido de carbono em níveis acima do desejável é a ocupação humana, o fumo de tabaco e o exterior (tráfego automóvel).

A concentração de COV_{Totais} na Cozinha 5.1 não é muito alta, sendo uma possível origem para a existência deste poluente a utilização de detergentes. No Quarto 5.1 e na Sala 5.1 as concentrações de COV_{Totais} encontradas foram superiores às da cozinha, mas inferiores aos limites regulamentares.

Em nenhum dos compartimentos da Habitação 5.1 analisados foi detectada a presença de formaldeído.

As concentrações de PM₁₀ medidas na Habitação 5.1 respeitam os requisitos regulamentares.

Nesta habitação a humidade relativa poderá ser um problema para a qualidade do ar, uma vez que atinge níveis propícios ao desenvolvimento de bactérias, fungos e ácaros (Tuomisto, 2009).

Os valores de referência do RSECE, no que respeita às concentrações máximas de poluentes, na Habitação 5.1, são ultrapassados no caso do dióxido de carbono em todos os compartimentos e no caso dos compostos orgânicos voláteis na cozinha e na sala.

Edifício 6 - Habitação 6.1

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal da Habitação 6.1 é de 1,15 h⁻¹.

Na Habitação 6.1 foi detectada a presença de monóxido de carbono na cozinha e na sala. No quarto da Habitação 6.1 não foi detectada a presença de monóxido de carbono.

A Habitação 6.1 está localizada na proximidade de uma estrada com elevada circulação automóvel, pelo que a origem do monóxido de carbono medido neste compartimento poderá dever-se ao tráfego.

As concentrações de dióxido de carbono medidas na Habitação 6.1 são inferiores aos valores máximos regulamentares sendo próximas do limite no caso da cozinha. Os processos de combustão que ocorrem na cozinha devido a alguns equipamentos (fogão, esquentador) são outra das possíveis causas da concentração de CO₂ medida.

Detectou-se a presença de compostos orgânicos voláteis em todos os compartimentos estudados na Habitação 6.1. A cozinha é o local que apresenta as maiores concentrações de COV_{totais}.

Não foi detectada a presença de formaldeído nem ozono na Habitação 6.1.

Na cozinha da Habitação 6.1 foram detectadas concentrações elevadas de partículas suspensas, ultrapassando o valor máximo regulamentar em alguns momentos. As fontes prováveis para a ocorrência das elevadas concentrações de partículas respiráveis detectadas neste compartimento são os processos de combustão já referidos e a proximidade da habitação a um jardim e à estrada com elevada circulação automóvel.

As concentrações de PM₁₀ medidas no quarto e na sala são inferiores ao valor limite regulamentar. A existência de têxteis, como os tapetes, as cortinas, a roupa de cama e o sofá é uma fonte provável para as quantidades de partículas medidas no quarto e na sala da Habitação 6.1.

Para a Habitação 61 verificou-se que apenas a concentração de partículas suspensas no ar ultrapassa o limite imposto pelo RSECE (0,15 mg/m³) na cozinha.

Edifício 7 - Habitação 7.1

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal desta habitação é de 1,10 h⁻¹.

Não foi detectada a presença de Monóxido de Carbono na cozinha e no quarto da Habitação 7.1 estudados. Foram, no entanto detectadas concentrações de CO na Sala 7.1. Na origem das concentrações de monóxido de carbono medidas neste compartimento poderão estar dois factores: o facto dos habitantes da habitação fumarem na varanda acoplada a este e; a proximidade do edifício a uma estrada muito movimentada.

As concentrações de dióxido de carbono medidas na Cozinha 7.1 são ligeiramente superiores ao valor máximo recomendado. Para além da ocupação humana, os processos de combustão devidos ao fogão a gás, com a inadequada extracção dos gases produzidos, associados à proximidade de uma estrada com elevada afluência de tráfego são as causas prováveis das concentrações de CO₂ medidas.

No quarto e na Sala da Habitação 7.1 as concentrações de CO₂ medidas são inferiores os valor máximo recomendado.

As concentrações de compostos orgânicos voláteis medidos na Habitação 7.1 são pequenas, sendo que a sua existência se deve provavelmente à utilização de produtos químicos (cozinha), perfumes e produtos de cosmética (quarto) e aos materiais de escritório existentes na sala.

Não foi detectada a presença de formaldeído na Habitação 7.1. Na Habitação 7.1 também não foi detectada a presença de ozono.

A concentração de partículas respiráveis medidas na cozinha, na sala e no quarto da Habitação 7.1 eram inferiores aos limites regulamentares, tendo possivelmente, origem nos processos de combustão devido ao fogão a gás existente na cozinha, na lareira existente na sala, no exterior, arruamento e jardim que se encontra próximo à habitação.

No quarto e na sala da Habitação 7.1 a existência de vários materiais têxteis (carpetes, tapetes e peluches), podem ser outra das possíveis causas das concentrações de PM₁₀ medidas.

Na Habitação 7.1 apenas a concentração de dióxido de carbono na cozinha ultrapassa os valores máximos de referência definidos pelo RSECE para edifícios de serviços.

Edifício 8 - Habitação 8.1 e Habitação 8.2

O local de implantação do Edifício 8 é muito exposto e a circulação automóvel na rua adjacente não é muito significativa.

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal desta habitação é de $1,10 \text{ h}^{-1}$, a taxa de ventilação medida usando a porta ventiladora é de $1,13 \text{ h}^{-1}$.

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal desta habitação é de $1,10 \text{ h}^{-1}$, a taxa de ventilação medida usando a porta ventiladora é de $0,96 \text{ h}^{-1}$.

As duas habitações têm características semelhantes, volume, área de envidraçados, orientação e exposição, mas diferem em dois factores muito importantes para a qualidade do ar interior, o tipo de caixilharia e a ocupação. Na Habitação 8.1 as caixilhariarias são de correr, a lareira existente na cozinha é utilizada diariamente durante o inverno e é ocupada por 4 pessoas, na Habitação 8.2 as caixilhariarias são giratórias e existe apenas um ocupante. Nenhum dos habitantes do Edifício 8 é fumador.

Na Tabela 5.9 apresentam-se as concentrações máximas de poluentes medidas no exterior uma vez que estas não estavam disponíveis através Agência Portuguesa do Ambiente.

Tabela 5.9 – Concentração máxima de poluentes medidas no exterior

Parâmetros	Concentração máxima (mg/m^3)
CO_2	450
CO	0,370
PM_{10}	0,017

De seguida apresentam-se as concentrações dos poluentes físico-químicos medidos na Habitação 8.1 e 8.2.

Monóxido de Carbono (CO)

Como mostra a Figura 5.13 foi medida uma pequena concentração de Monóxido de Carbono na Cozinha 8.1. A Figura 5.14 mostra que na Cozinha 8.2 não foi detectada a presença de CO.

Em ambas as cozinhas existe um esquentador e um fogão a gás e quando o fogão é utilizado o sistema de extracção é ligado.

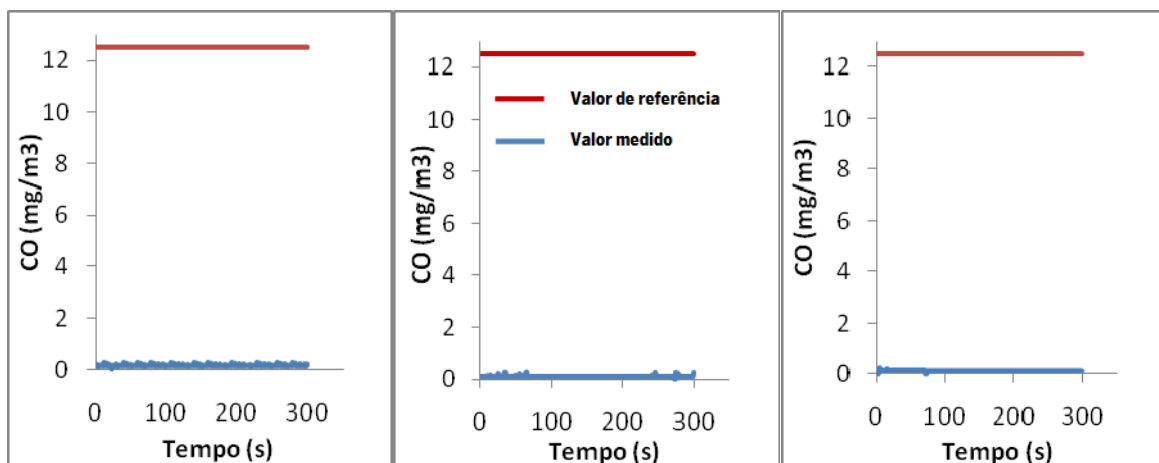


Figura 5.13 – Concentrações de CO na Cozinha 8.1

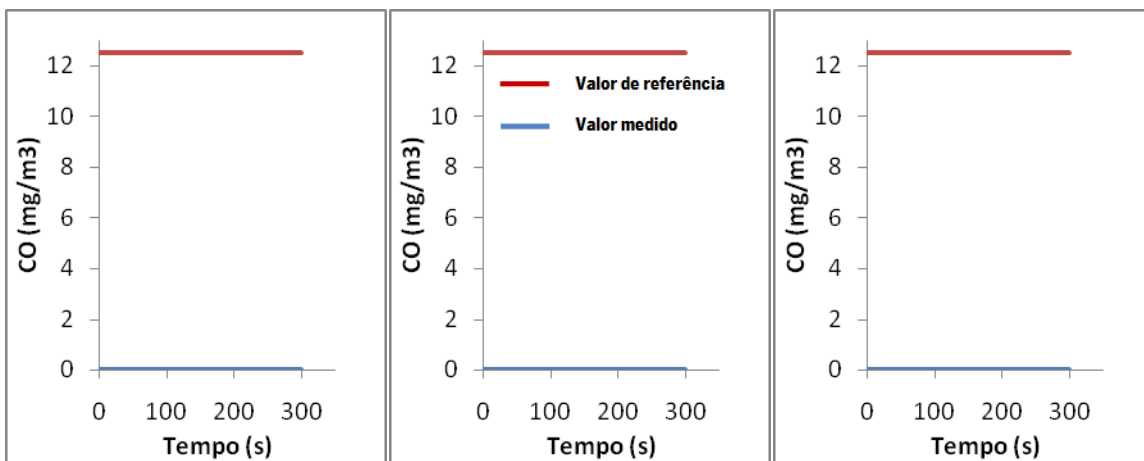


Figura 5.14 - Concentrações de CO na Cozinha 8.2

A concentração de CO registada é provavelmente devida aos gases de combustão associados à utilização do fogão, esquentador e em especial à lareira.

Tal como mostram os gráficos da Figura 5.15, da Figura 5.16, da Figura 5.17 e da Figura 5.18 não foi detectada a presença de Monóxido de Carbono nos restantes compartimentos da Habitação 8.1 e da Habitação 8.2 estudados.

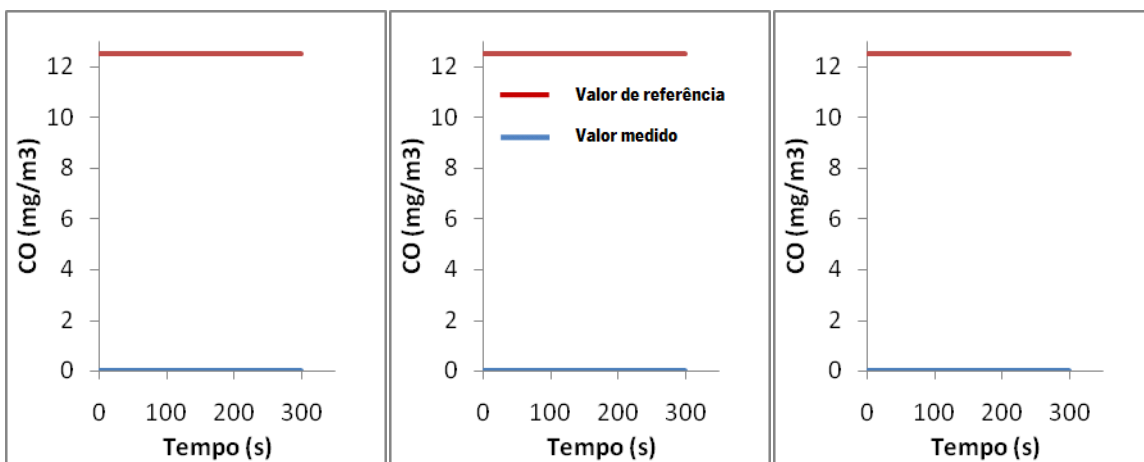


Figura 5.15 - Concentrações de CO no Quarto 8.1

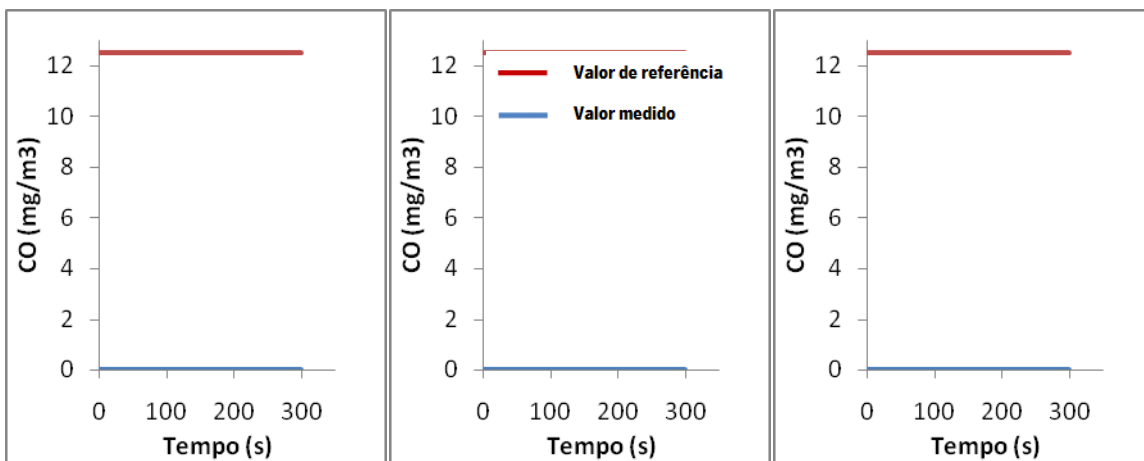


Figura 5.16 - Concentrações de CO no Quarto 8.2

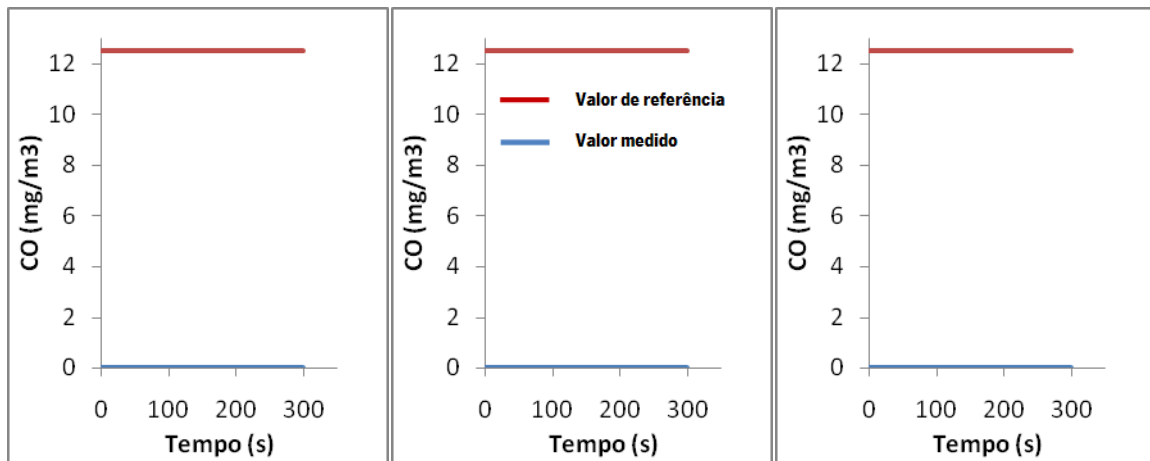


Figura 5.17 – Concentrações de CO na Sala 8.1

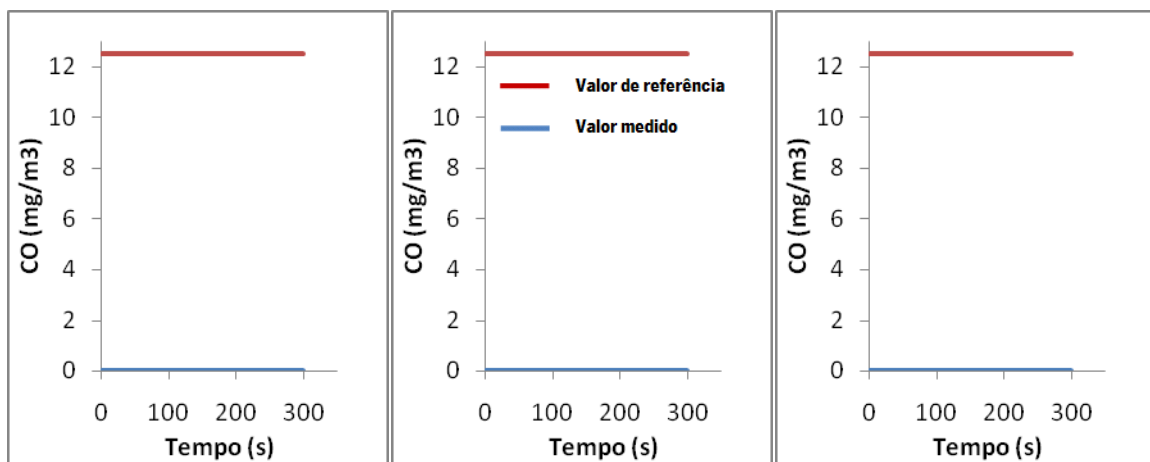


Figura 5.18 – Concentrações de CO na Sala 8.2

Nos quartos e nas salas estudadas não ocorrem processos de combustão e a contribuição de poluentes do exterior não é significativa, não sendo por isso detectada a presença de monóxido de carbono nestes compartimentos.

Dióxido de Carbono (CO₂)

As concentrações de dióxido de carbono medidas na Cozinha 8.1 são inferiores ao valor máximo recomendado, tal como se pode ver na Figura 5.19.

Na Habitação 8.2 a concentração de CO₂ é também inferior ao valor máximo de referência definido na regulamentação, tal como mostra a Figura 5.20.

Para além da ocupação humana, os processos de combustão associados ao funcionamento da lareira, do esquentador e do fogão a gás, são as fontes da concentração de CO₂.

A adequada extracção dos gases produzidos pelo fogão e pelo esquentador a gás e a abertura das janelas permite controlar a concentração de CO₂ na cozinha.

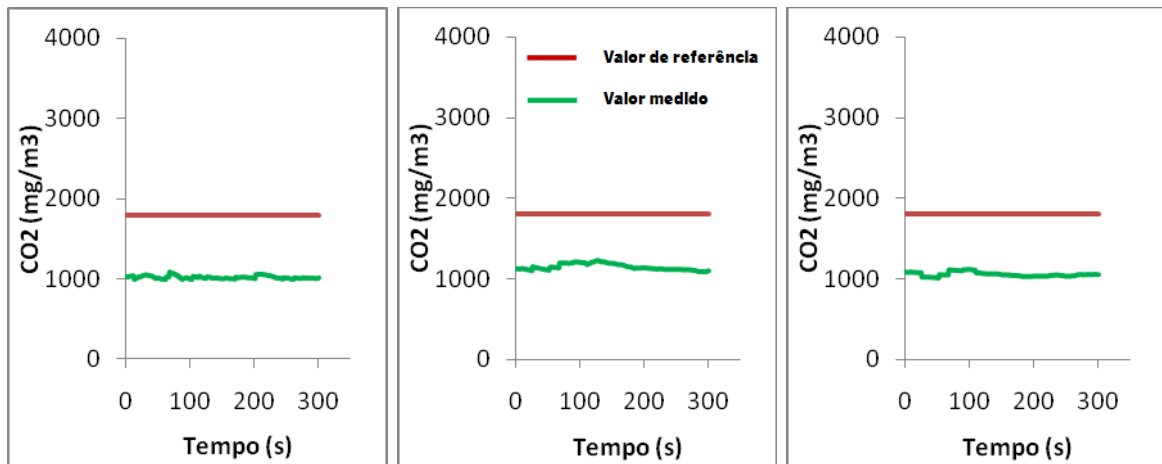


Figura 5.19 - Concentrações de CO₂ na Cozinha 8.1

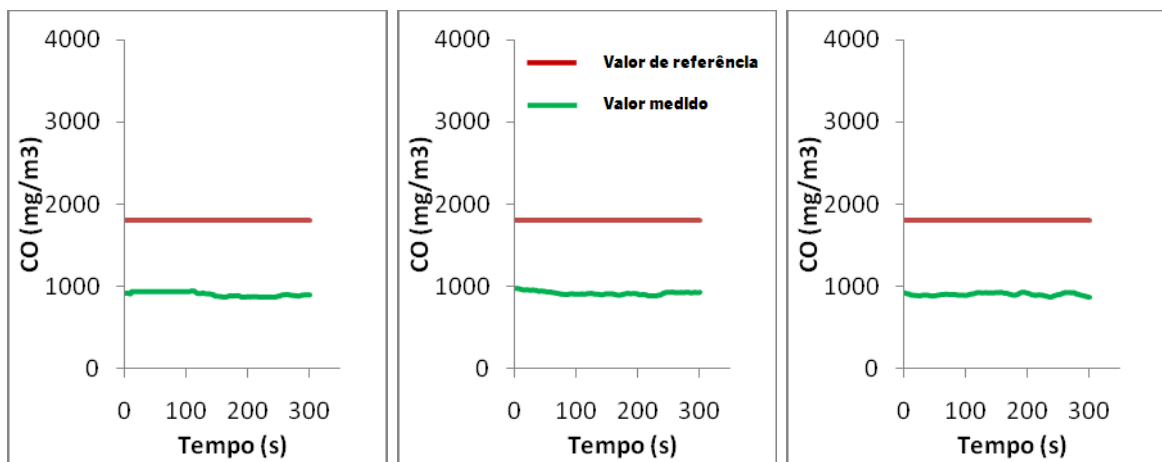


Figura 5.20 - Concentrações de CO₂ na Cozinha 8.2

No Quarto da Habitação 8.1 (com dois ocupantes) e da Habitação 8.2 (com um ocupante) as concentrações de CO₂ medidas são inferiores os valor máximo recomendado, tal como mostram os gráficos da Figura 5.21 e da Figura 5.22. Nestes compartimentos a ocupação humana é a principal fonte de dióxido de carbono.

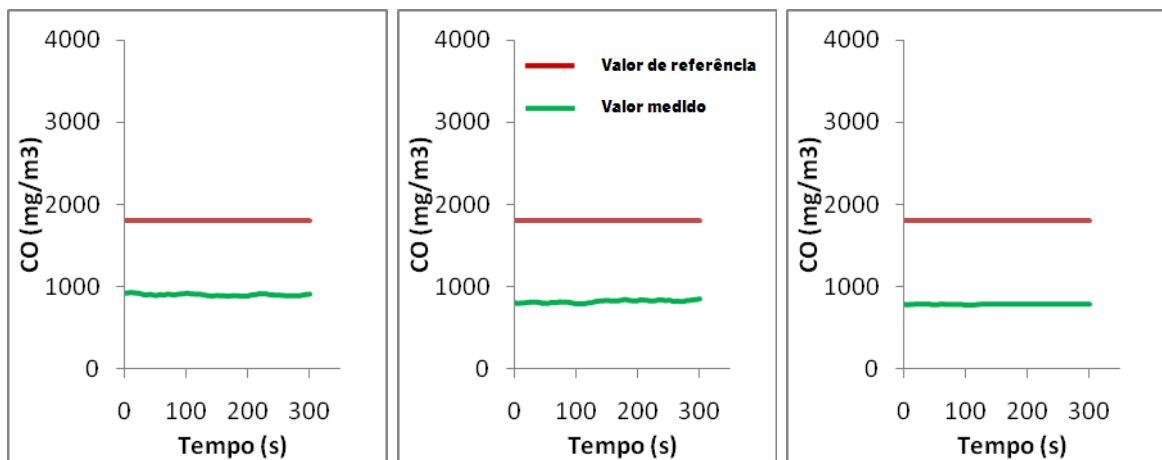


Figura 5.21 - Concentrações de CO₂ no Quarto 8.1

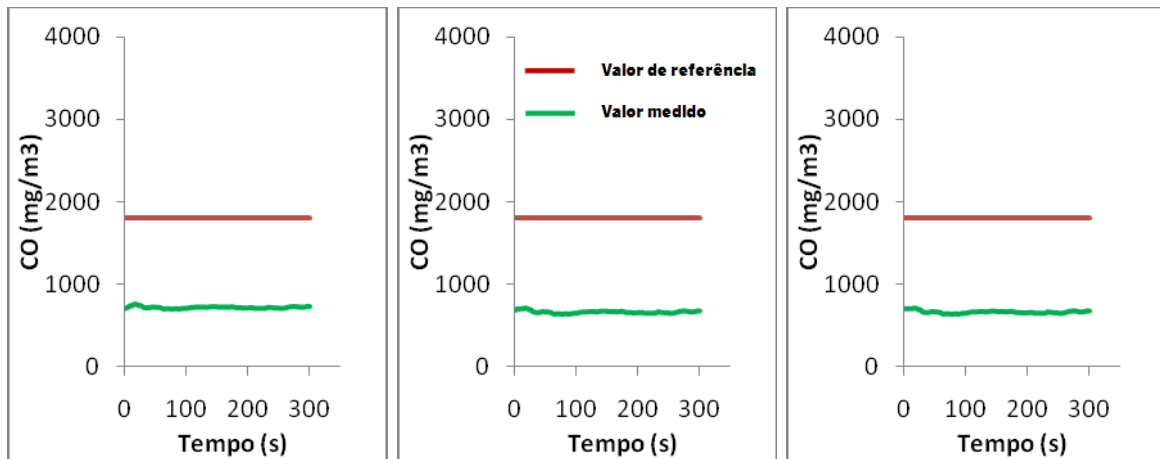


Figura 5.22 – Concentrações de CO₂ no Quarto 8.2

Na Sala da Habitação 8.1 e da Habitação 8.2 as concentrações de CO₂ medidas são também inferiores os valor máximo recomendado, tal como mostram os gráficos da Figura 5.23 e da Figura 5.24.

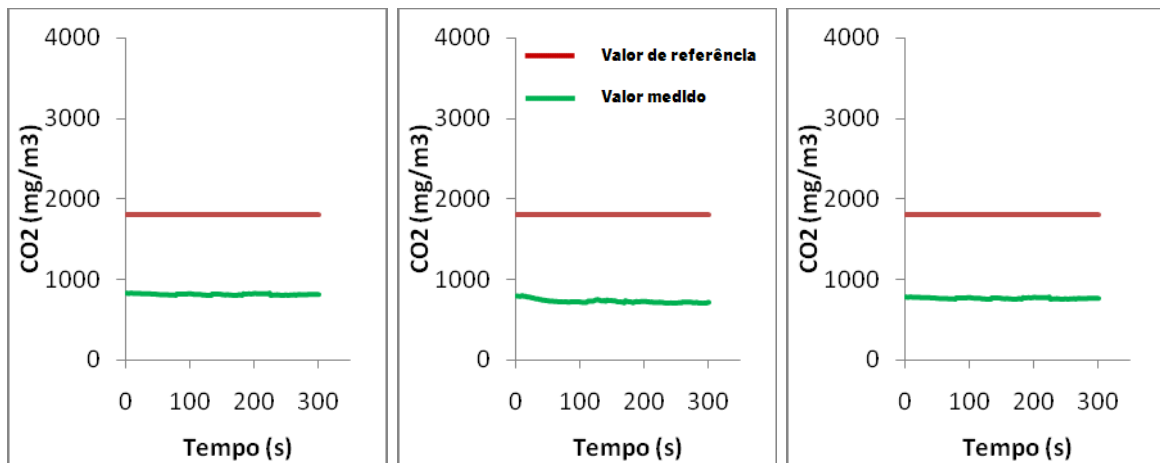


Figura 5.23 – Concentrações de CO₂ na Sala 8.1

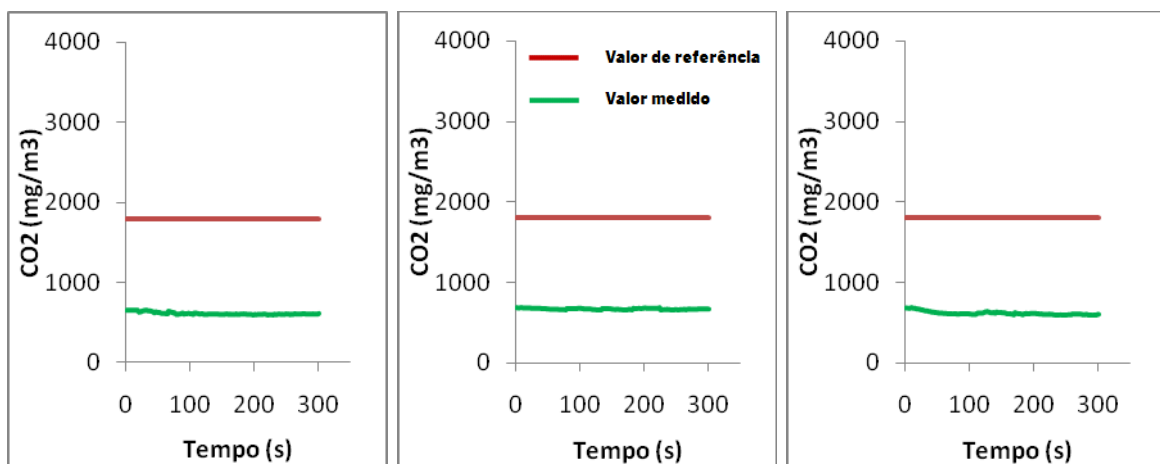


Figura 5.24 – Concentrações de CO₂ na Sala 8.2

Nas salas a ocupação humana é, tal como no caso dos quartos, a principal fonte de dióxido de carbono.

Compostos Orgânicos Voláteis totais (COV_{Totais})

As concentrações de COV_{Totais} medidas na cozinha, no quarto e na sala da Habitação 8.1 são apresentadas nos gráficos da Figura 5.25, da Figura 5.26 e da Figura 5.27, respectivamente.

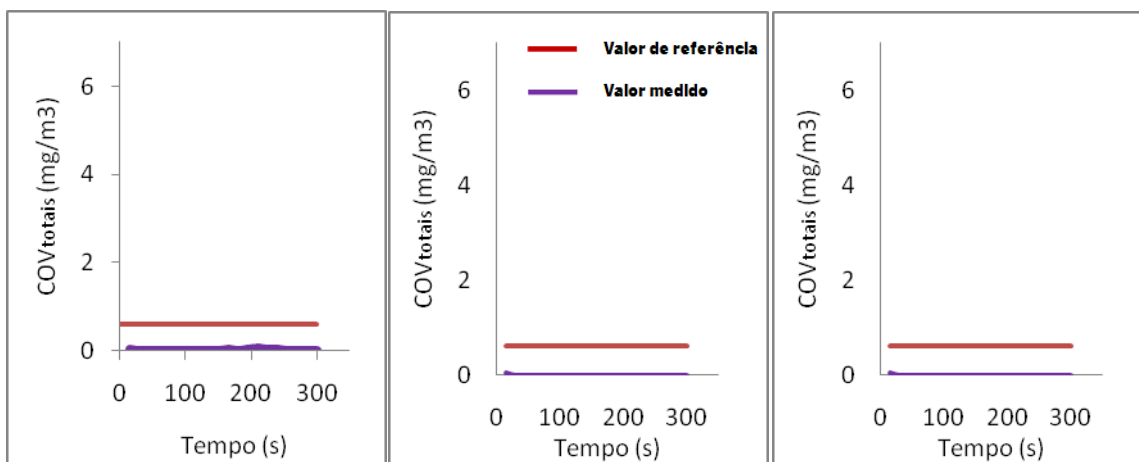


Figura 5.25 - Concentrações de COV_{Totais} na Cozinha 8.1

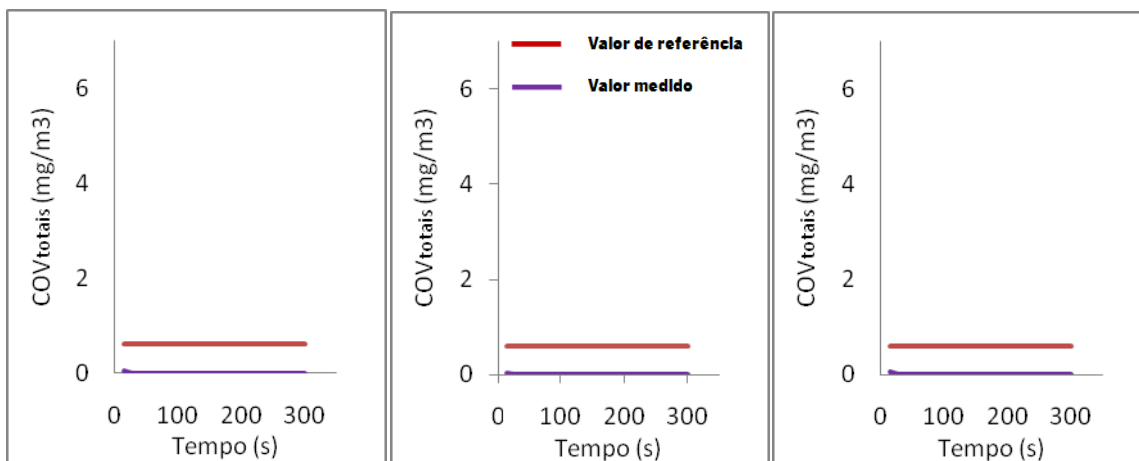


Figura 5.26 - Concentrações de COV_{Totais} no Quarto 8.1

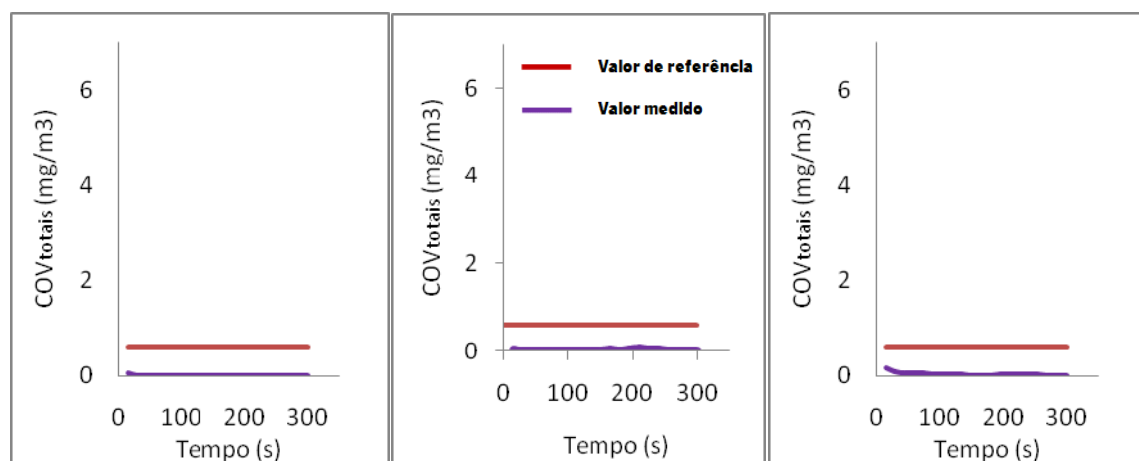


Figura 5.27 - Concentrações de COV_{Totais} na Sala 8.1

As concentrações de COV_{Totais} medidas na Habitação 8.2 são apresentadas nos gráficos da Figura 5.28, da Figura 5.29 e da Figura 5.30, respectivamente para a cozinha, para o quarto e para a sala.

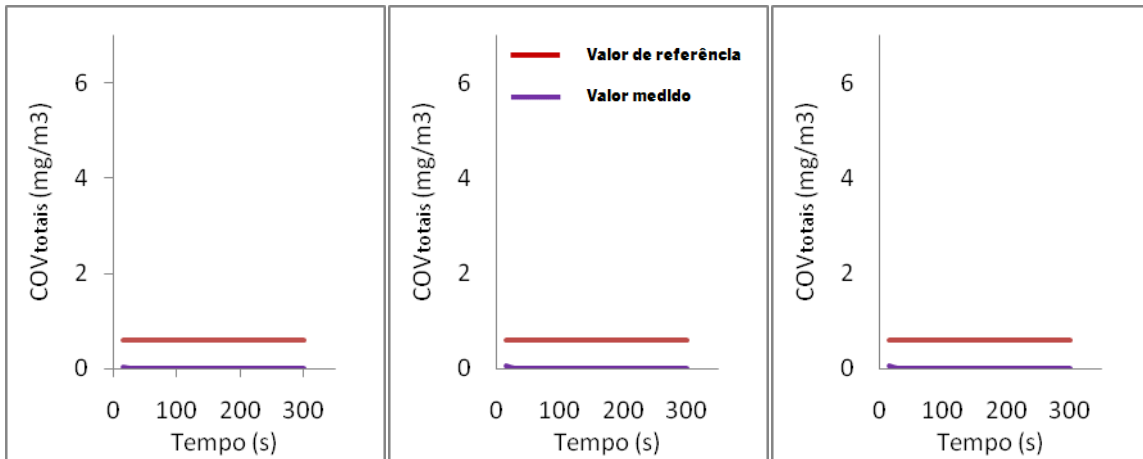


Figura 5.28 - Concentrações de $COV_{totalis}$ na Cozinha 8.2

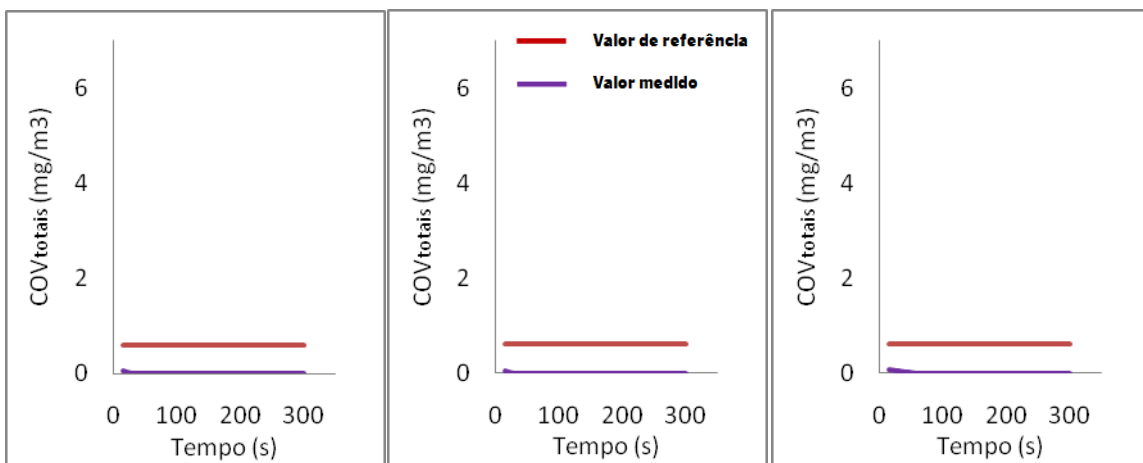


Figura 5.29 - Concentrações de $COV_{totalis}$ no Quarto 8.2

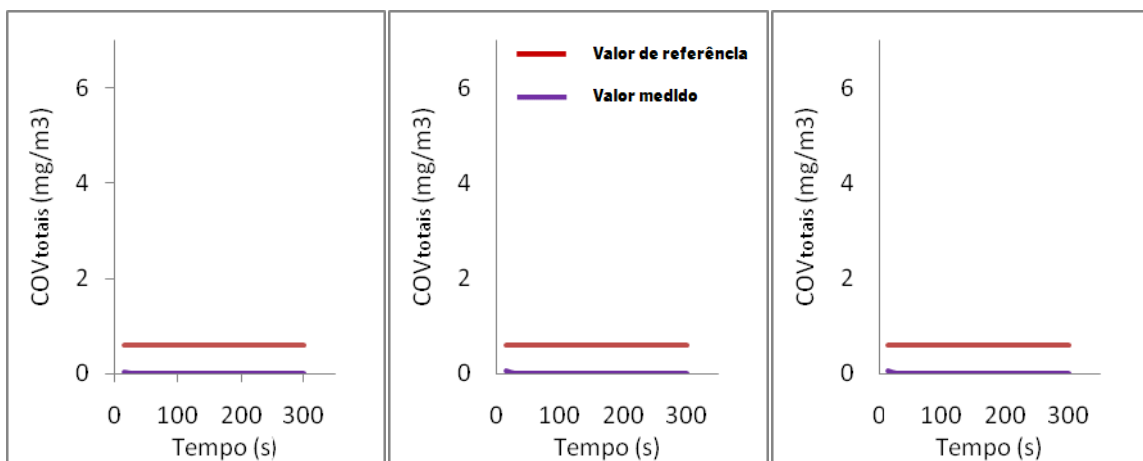


Figura 5.30 - Concentrações de $COV_{totalis}$ na Sala 8.2

As concentrações de compostos orgânicos voláteis medidos na Habitação 8.1 e 8.2 são pequenas, sendo que a sua existência se deve provavelmente à utilização de produtos de limpeza (cozinha), perfumes e produtos de cosmética (quarto).

Formaldeído (CHOH)

Nas Figura 5.31 à Figura 5.36 apresentam-se os resultados das medições de formaldeído efectuadas na Habitação 8.1 e 8.2.

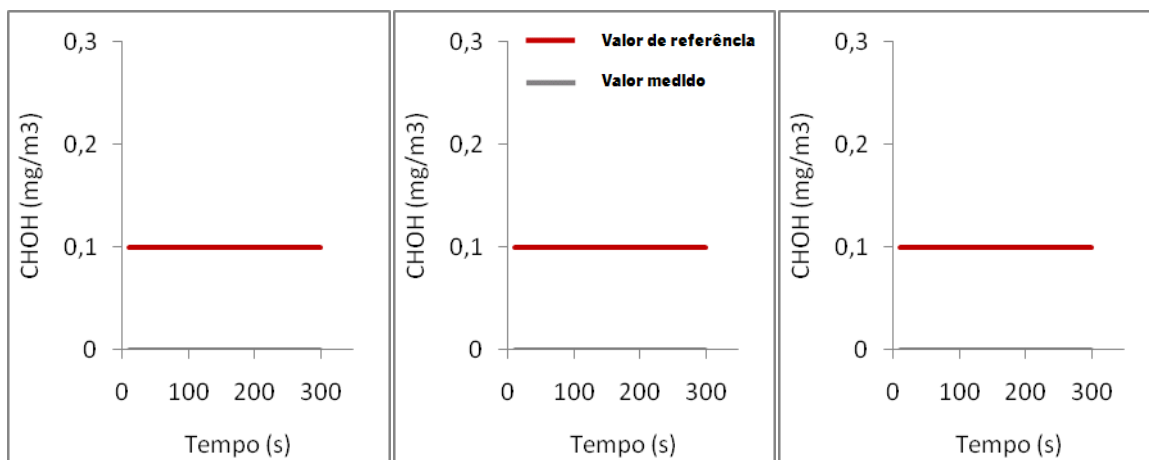


Figura 5.31 - Concentrações de CHO H na Cozinha 8.1

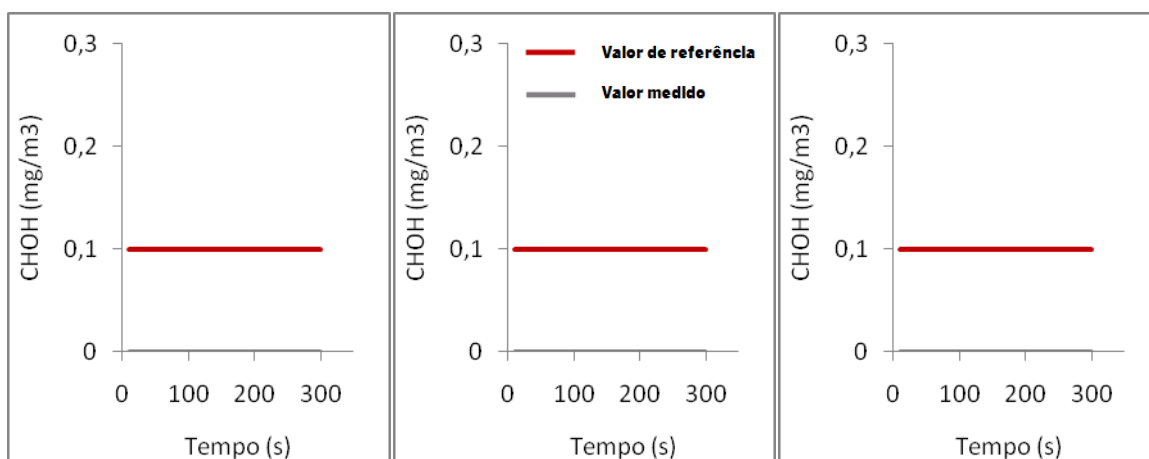


Figura 5.32 - Concentrações de CHO H no Quarto 8.1

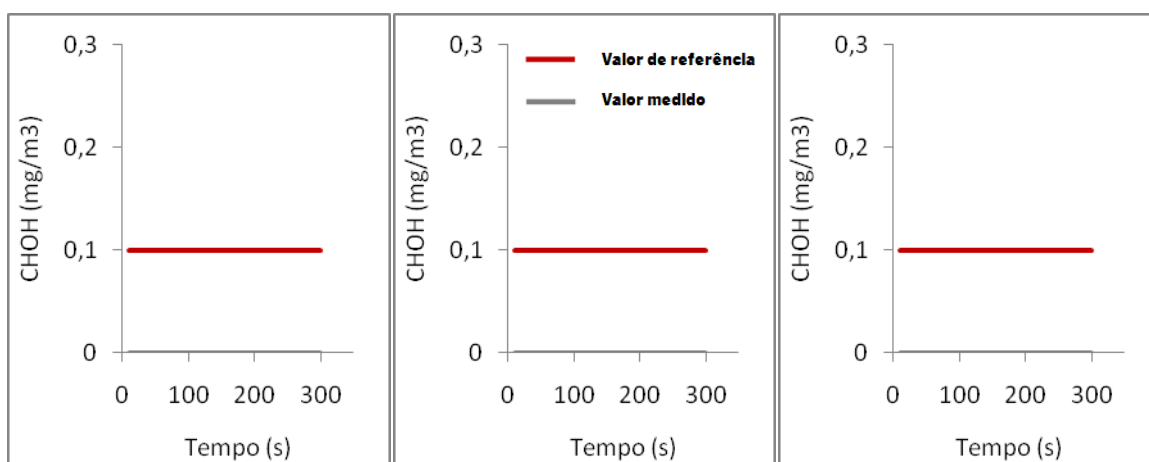


Figura 5.33 - Concentrações de CHO H na Sala 8.1

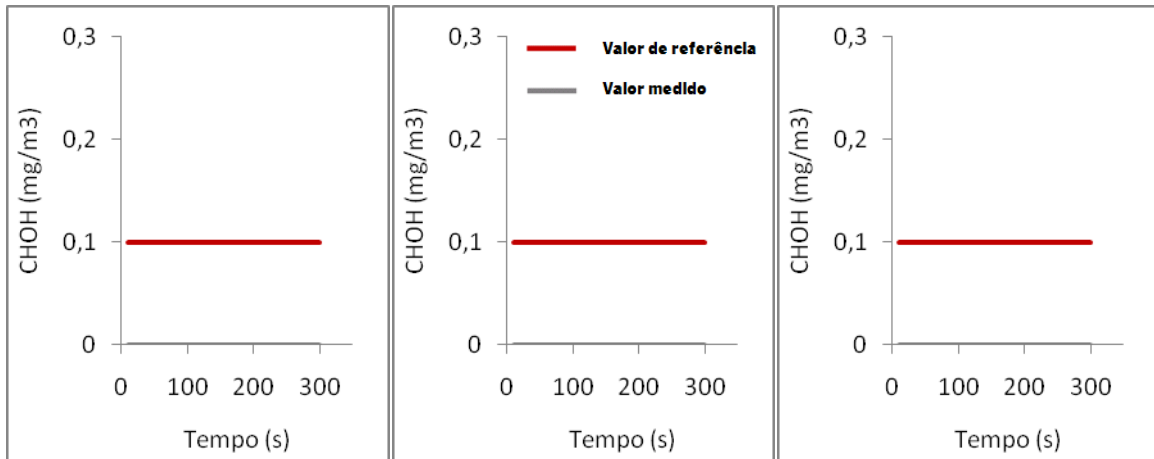


Figura 5.34 - Concentrações de CHOH na Cozinha 8.2

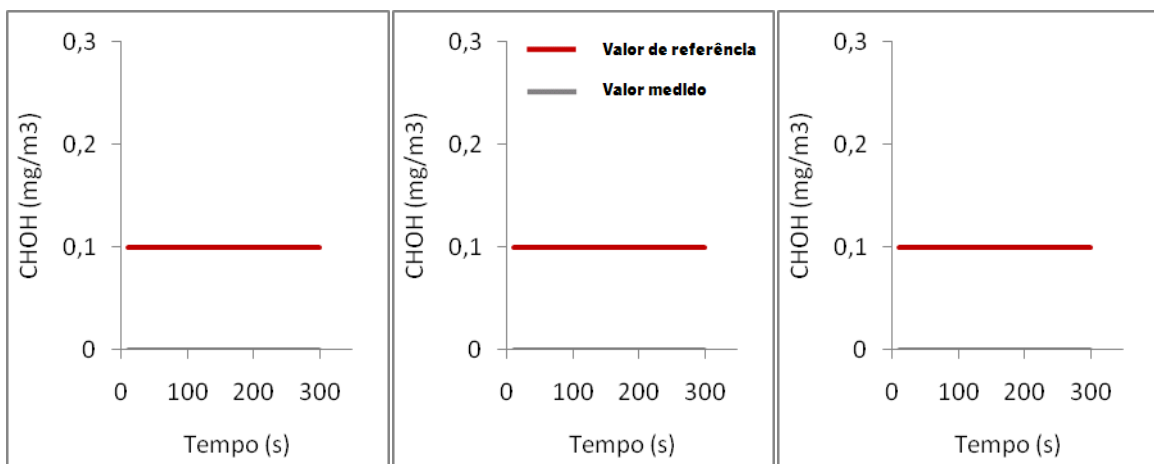


Figura 5.35 - Concentrações de CHOH no Quarto 8.2

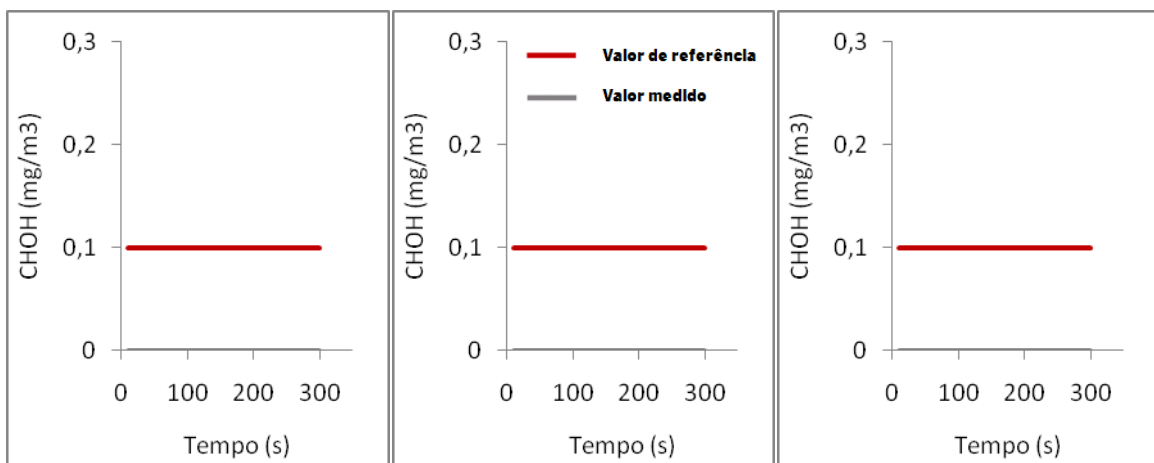


Figura 5.36 - Concentrações de CHOH na Sala 8.2

Não foi detectada a presença de formaldeído em nenhum dos compartimentos do Edifício 8 analisados.

Ozono (O₃)

Nem na Habitação 8.1 nem na Habitação 8.2 foi detectada a presença de ozono, tal como mostram os gráficos da Figura 5.37 à Figura 5.42.

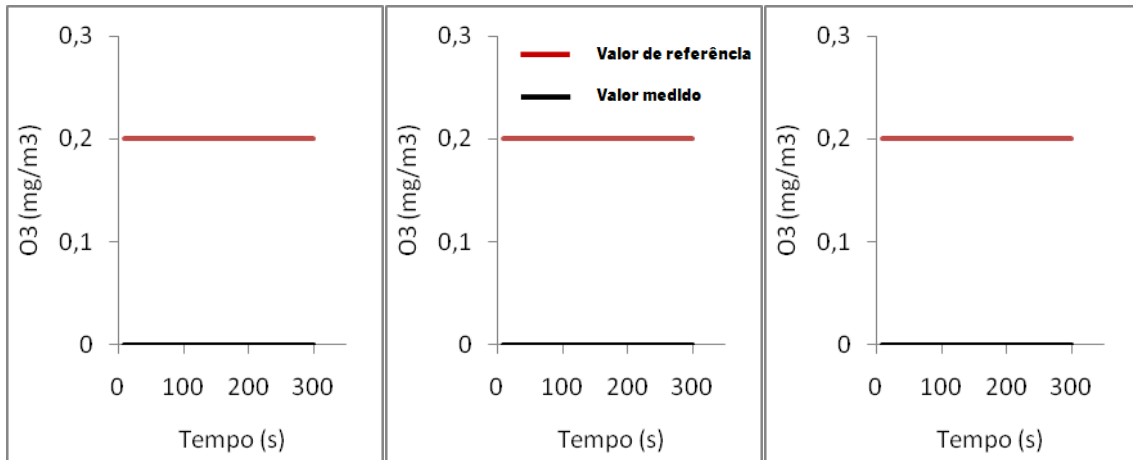


Figura 5.37 – Concentrações de O₃ na Cozinha 8.1

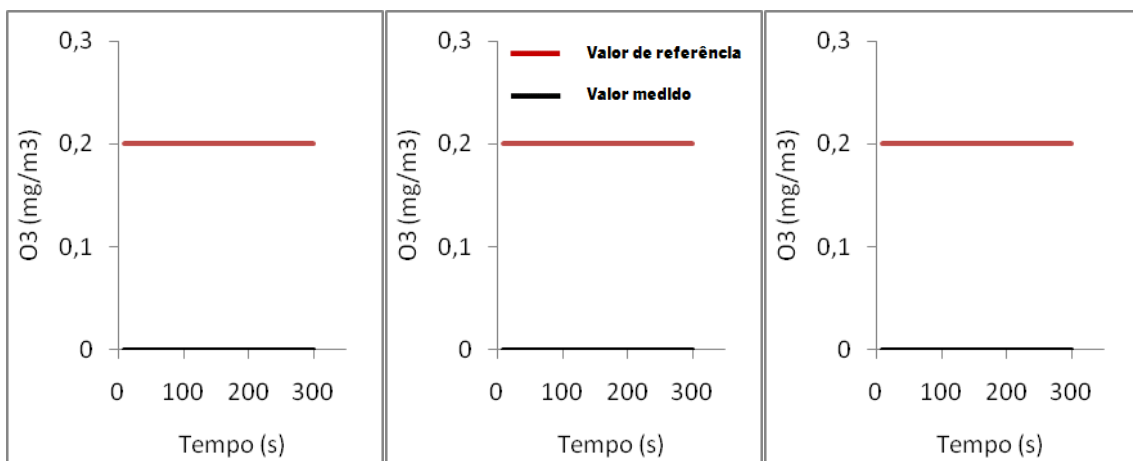


Figura 5.38 – Concentrações de O₃ no Quarto 8.1

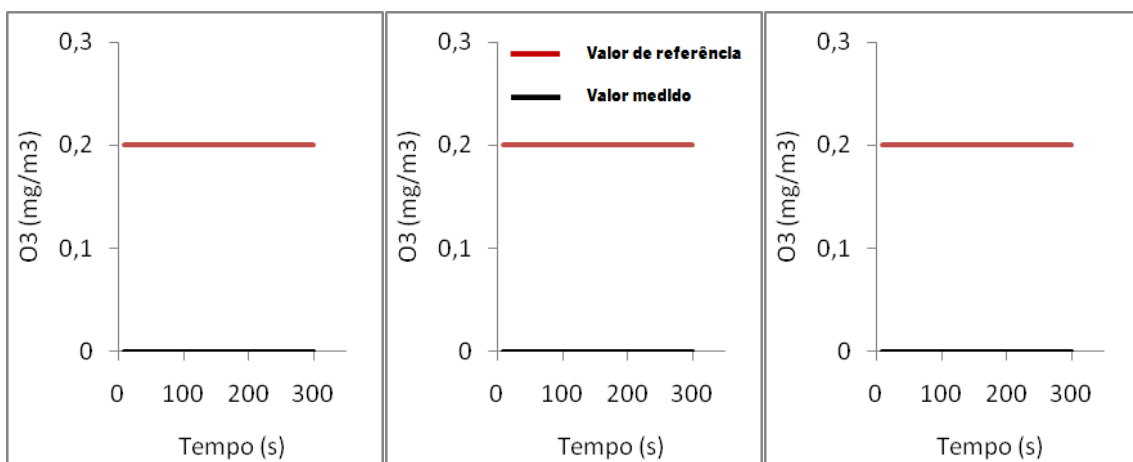


Figura 5.39 – Concentrações de O₃ na Sala 8.1

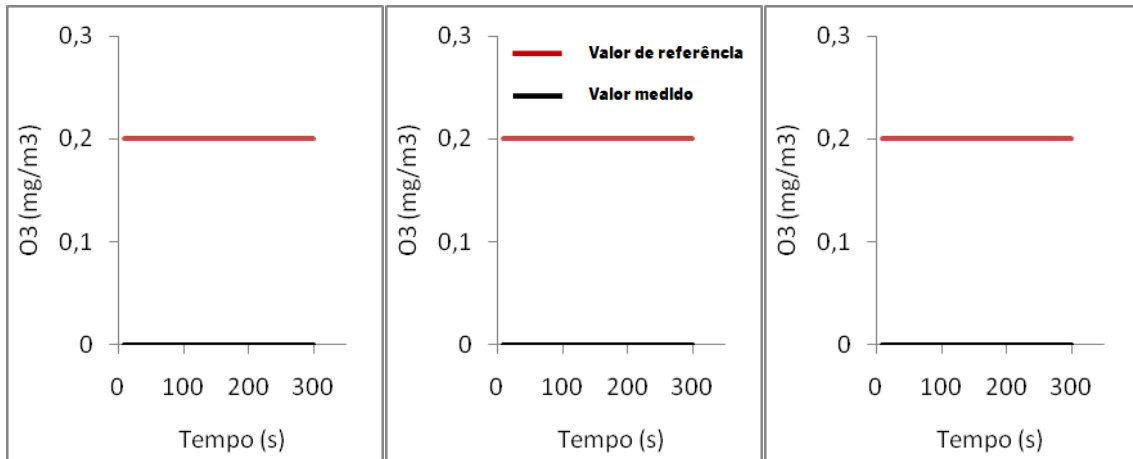


Figura 5.40 – Concentrações de O₃ na Cozinha 8.2

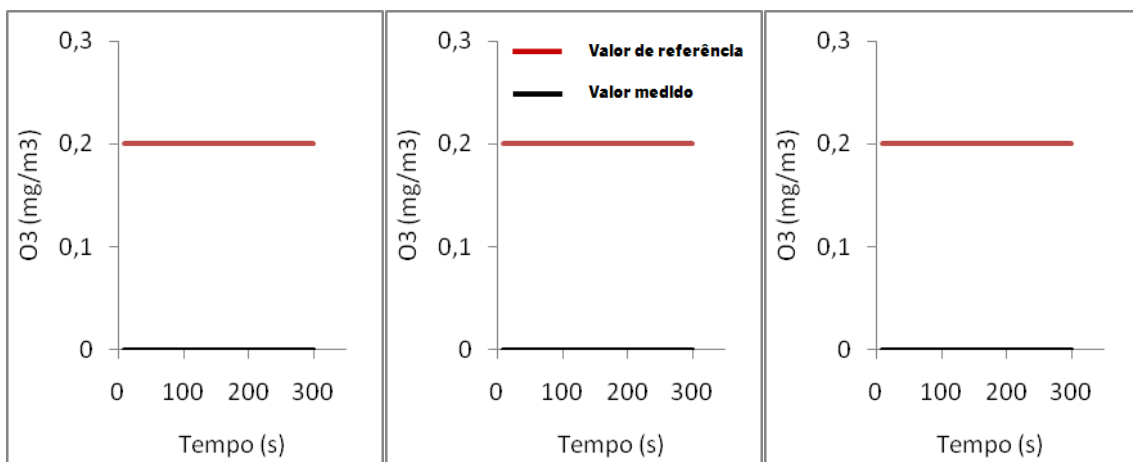


Figura 5.41 – Concentrações de O₃ no Quarto 8.2

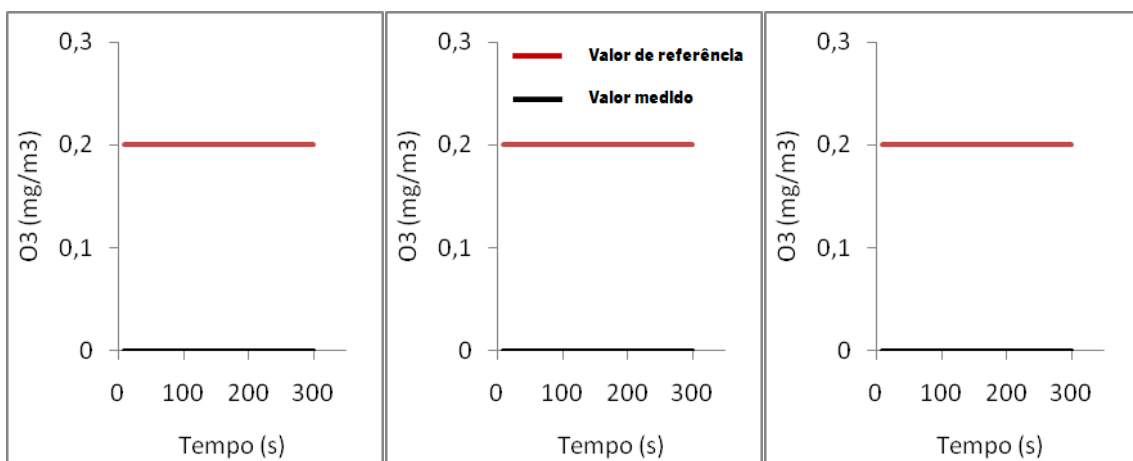


Figura 5.42 – Concentrações de O₃ na Sala 8.2

Partículas suspensas no ar (PM₁₀)

As concentrações de partículas suspensas no ar medidas na Cozinha 8.1 e na Cozinha 8.2 são apresentadas na Figura 5.43 e na Figura 5.44.

A concentração de partículas respiráveis medidas na cozinha têm, possivelmente, origem nos processos

de combustão devidos ao fogão e esquentador a gás existentes, bem como a lareira da Cozinha 8.1, e nos jardins e zona de pinhal que existentes na proximidade da habitação.

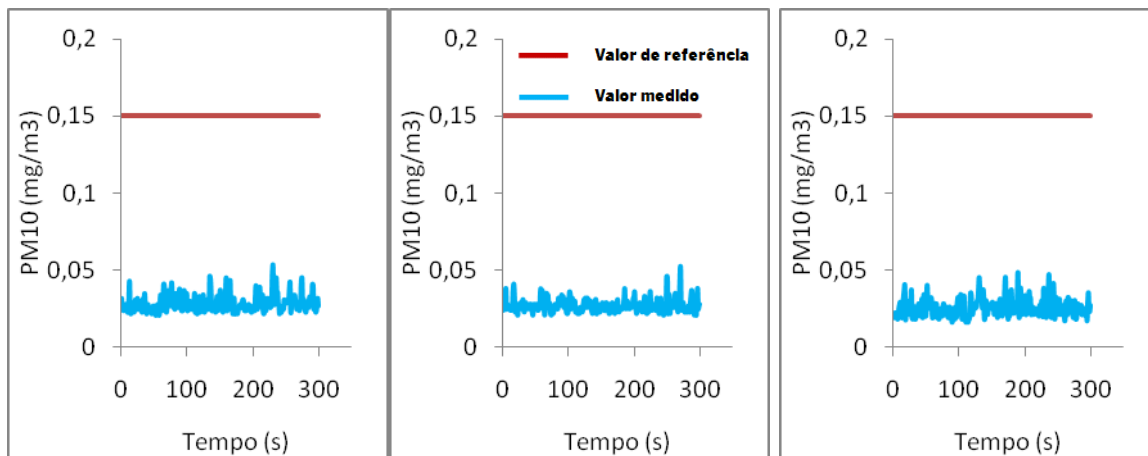


Figura 5.43 - Concentrações de PM_{10} na Cozinha 8.1

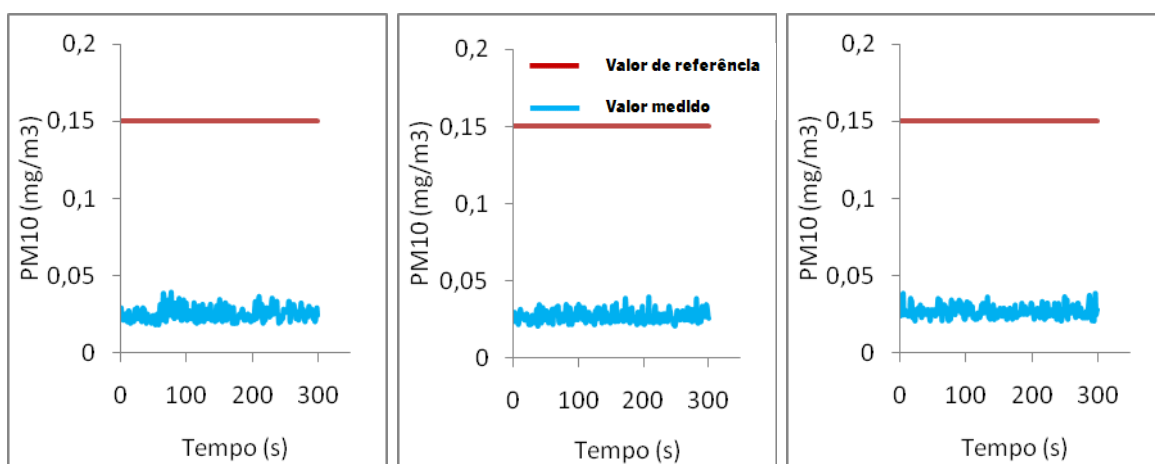


Figura 5.44 - Concentrações de PM_{10} na Cozinha 8.2

As concentrações de PM_{10} medidas no Quarto 8.1 e no Quarto 8.2 são apresentados na Figura 5.45 e na Figura 5.46.

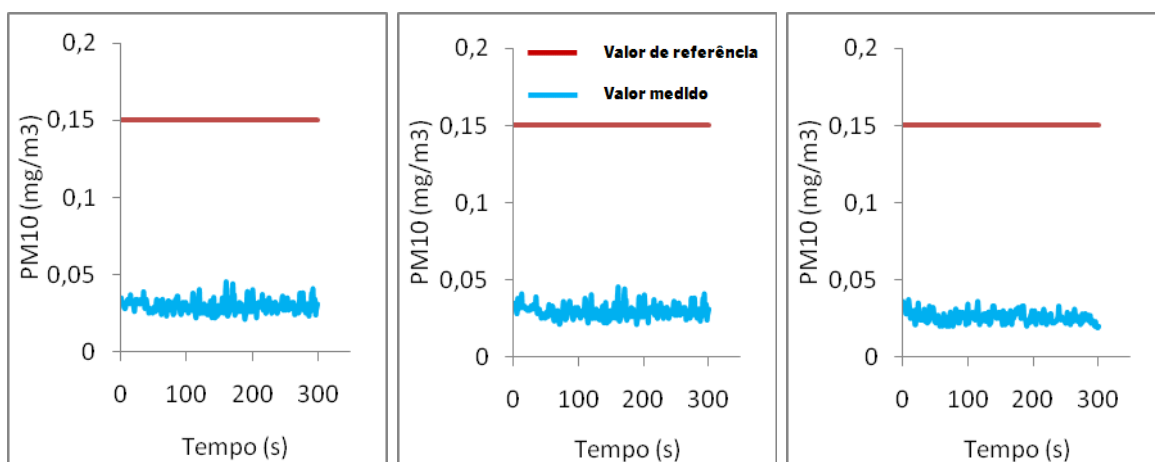


Figura 5.45 - Concentrações de PM_{10} no Quarto 8.1

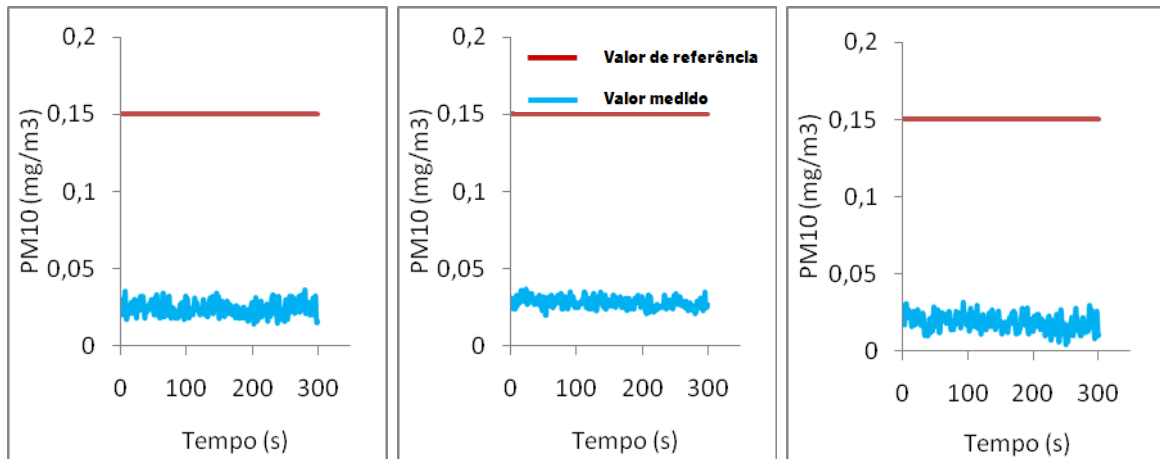


Figura 5.46 - Concentrações de PM_{10} no Quarto 8.2

Na Figura 5.47 e na Figura 5.48 mostram-se as concentrações de partículas suspensas no ar medidas na Sala 8.1 e na Sala 8.2, respectivamente.

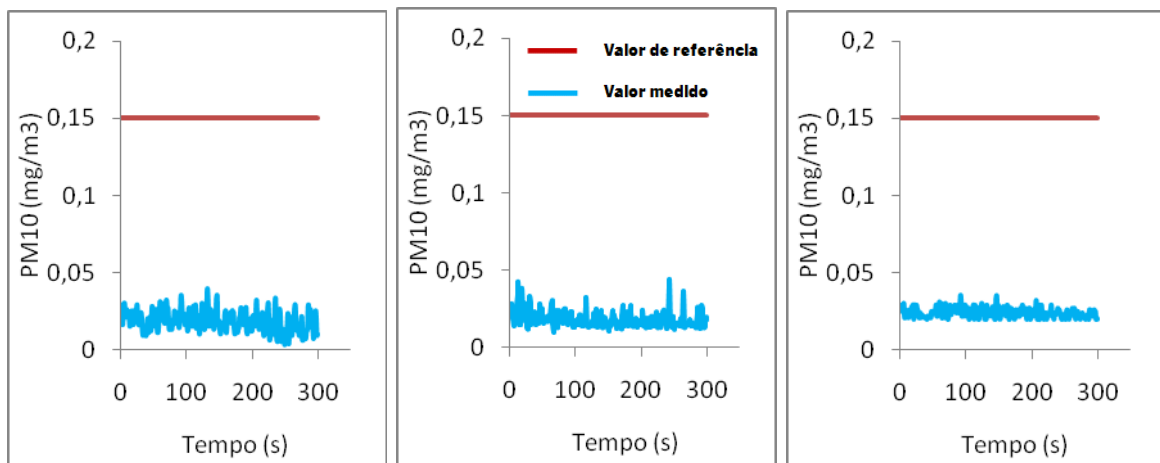


Figura 5.47 - Concentrações de PM_{10} na Sala 8.1

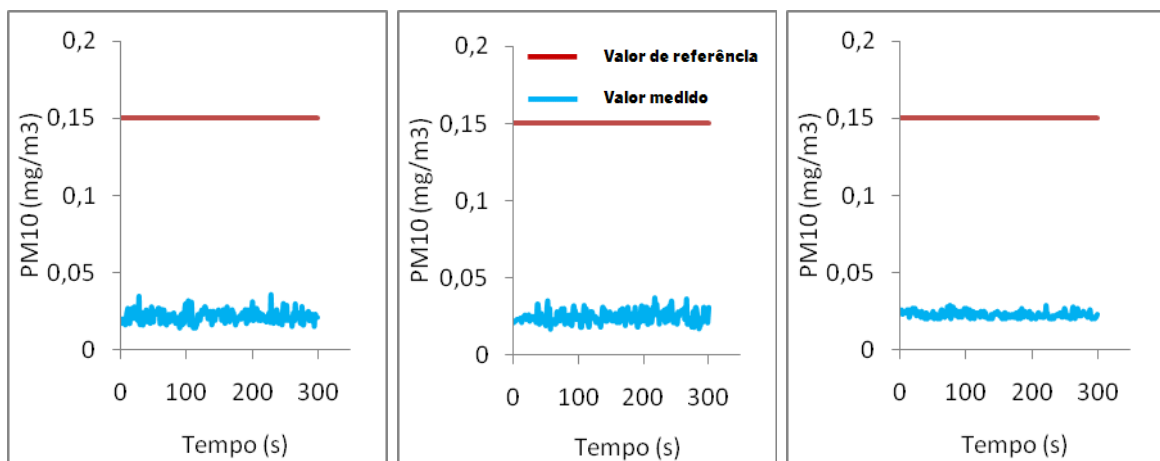


Figura 5.48 - Concentrações de PM_{10} na Sala 8.2

No quarto e na sala da Habitação 8.1 e da Habitação 8.2 a concentração de partículas respiráveis está de acordo com os valores de referência. As principais fontes de partículas respiráveis são os materiais

têxteis existentes nestes compartimentos e podem também ser provenientes do exterior (jardins e zona de pinhal que existem na proximidade da habitação).

Radão

No edifício 8 foi também medida a concentração de radão. As medições, com 15 dias de duração e um período de integração de 8 horas, tiveram início após o período de estabilização do sensor de radão (60 dias).

Na Figura 5.49 apresentam-se os resultados da medição da concentração de Radão realizada na sala da Habitação 8.1.

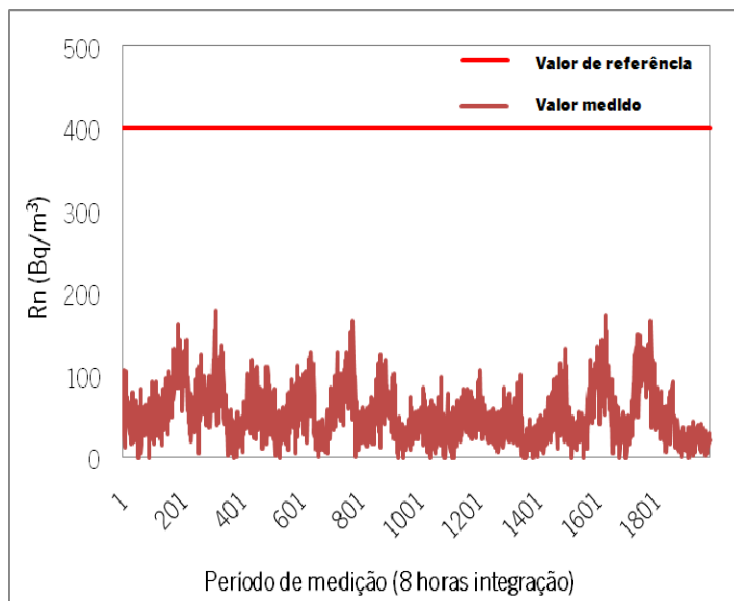


Figura 5.49 – Concentrações de Radão na Sala 8.1

A concentração de Radão medida na Sala 8.2 é apresentada na Figura 5.50

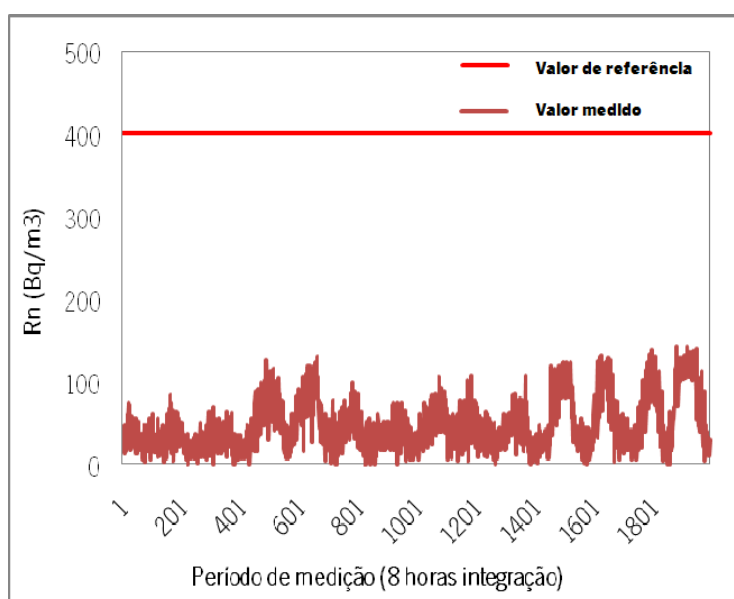


Figura 5.50 – Concentrações de Radão na Sala 8.2

A concentração de radão tanto na Habitação 8.1 como na Habitação 8.2, tal como se pode verificar na Figura 5.49 e na Figura 5.50, é inferior ao valor máximo regulamentar.

As concentrações de radão mais baixas correspondem aos períodos em que o compartimento onde estava colocado o sensor de radão era ventilado.

Verificação Regulamentar

As concentrações de poluentes medidos na Habitação 8.1 e na Habitação 8.2 são inferiores aos valores máximos de referência definidos pelo RSECE para edifícios de serviços.

5.2.2 Estratégias de Mitigação

Após terem sido indicadas as causas para a ocorrência das concentrações medidas, é importante estudar soluções para melhorar a qualidade do ar na habitação em estudo.

Assim, relativamente à presença de monóxido de carbono e dióxido de carbono e partículas respiráveis, verificou-se que as principais fontes deste poluente eram os processos de combustão associados a lareiras, fogões e esquentadores a gás, e a contaminação exterior, em especial ao tráfego automóvel nas vias adjacentes e ao fumo do tabaco.

É assim necessário utilizar os sistemas de extração associados a fogões e verificar o funcionamento de fogões e esquentadores, bem como das lareiras e evitar que os ocupantes fumam no interior das habitações e próximo de zonas por onde seja realizada a ventilação dos espaços.

As concentrações de partículas respiráveis estão também associados à existência de produtos têxteis, tal como cortinas, tapetes, bem como a sofás e roupa de cama, que acumulam o pó. É assim necessário melhorar a utilização destes produtos (aspirar, sacudir e lavar com maior frequência) ou substituir por produtos com menor acumulação.

A concentração de compostos orgânicos voláteis está em especial associada à utilização de produtos de limpeza, a perfumes e cosméticos e velas aromáticas (que libertam também partículas respiráveis). A utilização de produtos com menor libertação de contaminantes e a abertura de janelas aquando e após a sua utilização é uma forma de reduzir a exposição dos ocupantes.

Melhorar a ventilação dos espaços, através da abertura de janelas, de forma regular ou associada aos períodos de maior libertação de contaminantes, ou introduzir aberturas auto-reguláveis nas fachadas. No entanto, dada a proximidade da habitação com uma estrada, aconselha-se a que se abram as janelas de zonas mais afastadas desta, ou que se abram durante a noite, altura em que existe menor volume de tráfego. Outra forma, neste caso, será implementar um sistema de ventilação mecânica, com funcionamento em contínuo, ou pelo menos durante os períodos de ocupação, localizando as tomadas de ar em locais distantes às fontes de poluentes. Esta estratégia poderá melhorar a qualidade do ar ao nível de qualquer dos poluentes medidos, a menos que a qualidade do ar exterior seja pior do que a interior.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação do comportamento lumínico realizada.

5.3 Avaliação do Comportamento Lumínico

A avaliação do desempenho lumínico dos edifícios foi realizada através de medições in situ dos valores da iluminância exterior e interior, que permite ainda determinar o Factor de Luz do Dia.

Os critérios de desempenho lumínico estão definidos no Capítulo 2.

5.3.1 Avaliação do comportamento lumínico in situ

Edifício 1 - Habitação 1, 2 e 3

As primeiras habitações analisadas pertencem a um edifício multifamiliar com duas frentes, construído em 2002, edifício 1, com rés-do-chão e 3 pisos, sendo a fachada principal orientada a Sudeste. Os compartimentos onde foram efectuadas as medições, quarto, sala comum e cozinha, para vários tipos de envidraçados, não se encontravam mobilados.

As medições foram realizadas nos dias 23, 24 e 28 de Fevereiro 2007 em dias de céu encoberto.

A Tabela 5.10 apresenta o valor da iluminância exterior média medida na vertical e a Iluminância média do céu encoberto, medida no decurso dos ensaios, na face exterior e no centro geométrico do vão envidraçado dos diferentes compartimentos analisados.

Tabela 5.10 - Iluminâncias exteriores médias medidas na vertical e Iluminância média do céu encoberto

Nível	Compartimento	Iluminância exterior média, E_{vert} (lx)	Iluminância exterior, E_{ext} (lx)
Rés-do-chão	Cozinha	4905	12 385
1º Andar	Quarto	5368	13 555
	Cozinha	5432	13 716
	Sala comum com uma porta envidraçada	5429	13 710
	Sala comum com duas portas envidraçadas	5230	13 207
3º Andar	Quarto	5427	13 704

Representação Gráfica do Factor de Luz do Dia para os compartimentos estudados

Os níveis de iluminância no interior dos compartimentos foram medidos numa malha quadriculada com 0,50 m de espaçamento, a 0,80 m do pavimento (plano de trabalho), tal como mostra a Figura 5.51.



Figura 5.51 - Localização dos pontos de medição no compartimentos onde o FLD foi avaliado

Os Factores de Luz do Dia médios, FLD, obtidos nos compartimentos analisados, na direcção perpendicular ao plano YZ, são apresentados na Figura 5.52 para a cozinha localizada no rés-do-chão e na Figura 5.53 para a cozinha do 1º andar.

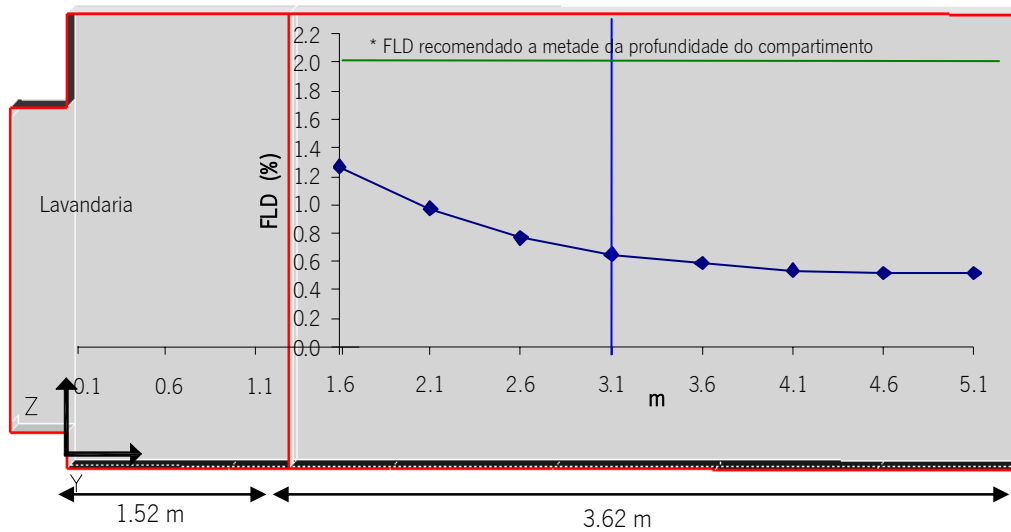


Figura 5.52 - FLD médios obtidos na cozinha do rés-do-chão (C₀) com porta envidraçada da lavandaria orientada a SE

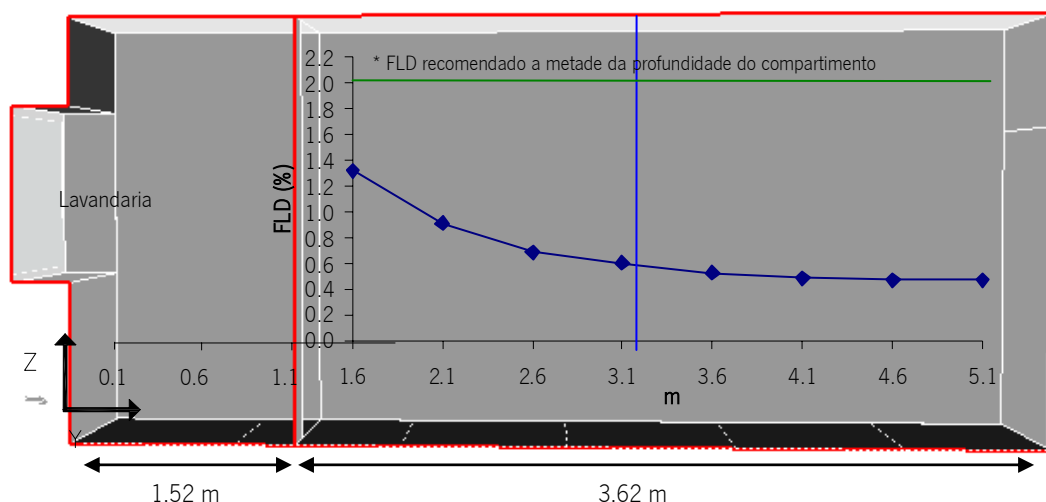


Figura 5.53 - FLD médios obtidos na cozinha do 1º Andar (C_1) com a janela da lavanderia orientada a SE

Na Tabela 5.11 apresentam-se os valores do Factor de Luz do Dia e da iluminância para a linha média das duas cozinhas analisadas.

Como se pode verificar através da análise da Tabela 5.11 não existem diferenças significativas no FLD nas duas cozinhas estudadas, uma com um envidraçado com 1,8 m de altura e outra com 1,0 m de altura, uma vez que a lavanderia reduz a entrada de luz no interior da cozinha. Em ambos os compartimentos o FLD e o nível de iluminância são inferiores aos valores recomendados para uma cozinha.

Tabela 5.11 - FLD médios obtidos na cozinha do rés-do-chão (C_0) com porta envidraçada na lavanderia orientada a SE e na cozinha do 1º Andar (C_1) com a janela da lavanderia orientada a SE

Compartimento	Cozinha do rés-do-chão com porta envidraçada, na lavanderia, orientada a SE (C_0)		Cozinha do 1º Andar com janela, na lavanderia, orientada a SE (C_1)	
	FLD médio (%)	Iluminância interior - E_{int} (lx)	FLD médio (%)	Iluminância interior - E_{int} (lx)
1,6	1,3	161,0	1,3	178,3
2,1	1,0	123,9	0,9	123,5
2,6	0,8	99,1	0,7	96,0
3,1	0,6	74,3	0,6	82,3
3,6	0,6	74,3	0,5	68,6
4,1	0,5	61,9	0,5	68,6
4,6	0,5	61,9	0,5	68,6
5,1	0,5	61,9	0,5	68,6

Os Factores de Luz do Dia médios, FLD, obtidos nas salas analisadas, na direcção perpendicular ao plano YZ, são apresentados na Figura 5.52 para a sala com duas portas envidraçadas e na Figura 5.53 para a sala com uma porta envidraçada, ambas localizadas no 1º andar e orientadas a Sudeste.

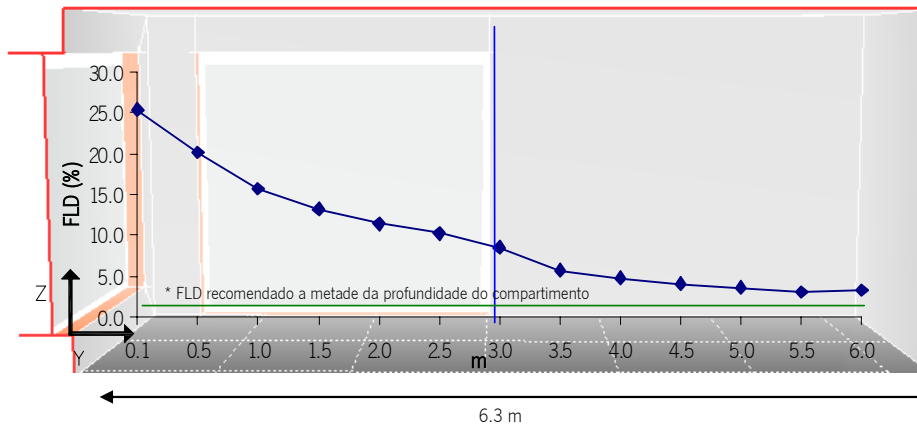


Figura 5.54 - FLD médios obtidos na sala comum do 1º Andar (S_{1SWSE}), com portas envidraçadas orientadas a SW e SE

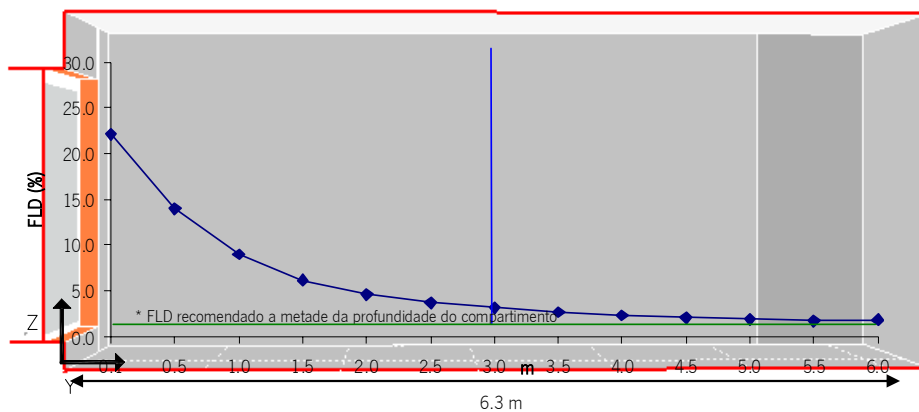


Figura 5.55 - FLD médios obtidos na sala comum do 1º Andar, com porta envidraçada orientada a SE (S_{1SE})
 Na Tabela 5.12 apresentam-se os valores do Factor de Luz do Dia e da iluminância para a linha média das duas salas estudadas.

Tabela 5.12 - FLD médios obtidos nas salas comuns do 1º Andar

Compartmento	Sala comum do 1º Andar, com portas envidraçadas orientadas a SW e SE (S_{1SWSE})		Sala comum do 1º Andar, com porta envidraçada orientada a SE (S_{1SE})	
	FLD médio (%)	Iluminância interior - E_{int} (lx)	FLD médio (%)	Iluminância interior - E_{int} (lx)
0,1	25,4	3354,6	22,1	3029,8
0,5	20,1	2654,6	14,0	1919,3
1,0	15,7	2073,5	9,0	1233,9
1,5	13,2	1743,3	6,1	836,3
2,0	11,4	1505,6	4,6	630,6
2,5	10,2	1347,1	3,7	507,3
3,0	8,5	1122,6	3,1	425,0
3,5	5,8	766,0	2,6	356,4
4,0	4,9	647,1	2,3	315,3
4,5	4,1	541,5	2,1	287,9
5,0	3,7	488,7	1,9	260,5
5,5	3,1	409,4	1,7	233,1
6,0	3,4	449,0	1,8	246,8

O Factor de Luz do Dia nas duas salas é superior ao valor recomendado, cerca de 83%, sendo o FLD da sala com dois envidraçados em paredes laterais cerca de 63% superior ao da sala com um envidraçado. A iluminância nas duas salas é muito superior ao valor recomendado (200 lx para a sala de estar e 100 lx para a sala de jantar). Os valores da iluminância junto ao envidraçado a Sudeste são semelhantes nas duas salas, mas decresce rapidamente na sala só com um envidraçado, sendo o valor da iluminância no fundo da sala, com dois envidraçados, superior ao valor da iluminância no centro da sala com um envidraçado.

Os Factores de Luz do Dia médios, FLD, obtidos nos compartimentos analisados, na direcção perpendicular ao plano YZ, são apresentados na Figura 5.56 para o quarto localizado no 1º andar e na Figura 5.57 para o quarto do 3º andar, ambos orientados a Noroeste.

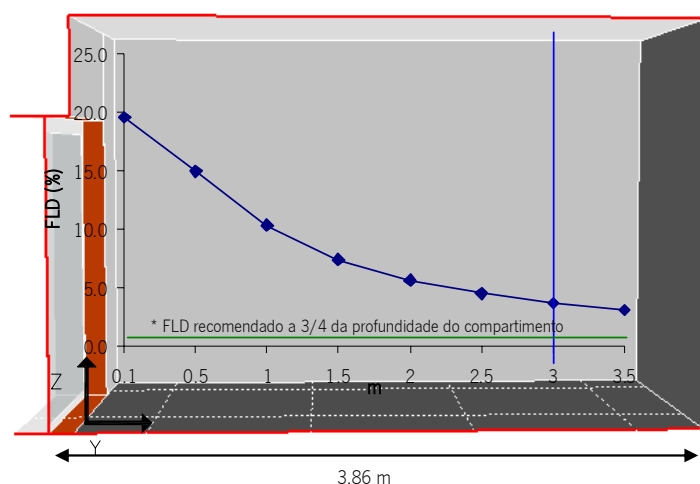


Figura 5.56 - FLD médios obtidos no quarto do 1º Andar com porta envidraçada orientada a NW

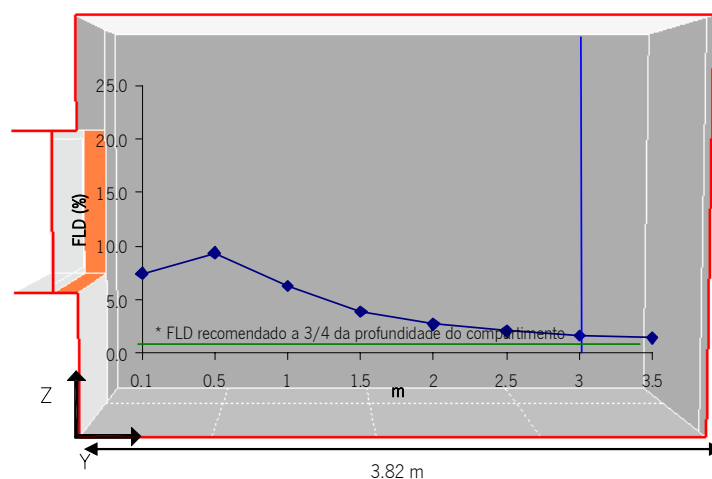


Figura 5.57 - FLD médios obtidos no quarto do 3º Andar com janela orientada a NW

Na Tabela 5.13 apresentam-se os valores do Factor de Luz do Dia e da iluminância para a linha média dos dois quartos analisados.

Tabela 5.13 – FLD médios obtidos nos quartos do 1º Andar e do 3º Andar com envidraçados orientados a NW

Compartimento	Quarto do 1º Andar com envidraçado orientado a NW		Quarto do 3º Andar com envidraçado orientado a NW	
	FLD médio (%)	Iluminância interior - E_{int} (lx)	FLD médio (%)	Iluminância interior - E_{int} (lx)
0,1	19,6	2656,9	7,5	1027,8
0,5	15,0	2033,3	9,4	1288,2
1,0	10,3	1396,2	6,3	863,4
1,5	7,4	1003,1	3,9	534,5
2,0	5,6	759,1	2,8	383,7
2,5	4,5	610,0	2,1	287,8
3,0	3,7	501,6	1,7	233,0
3,5	3,1	420,2	1,4	191,9

De acordo com os gráficos da Figura 5.52 à Figura 5.57 e com a Tabela 5.11 à Tabela 5.13, os FLD médios variam entre:

- 25,4 % a 3,4 % na sala comum do 1º Andar com portas envidraçadas orientadas a SW e SE;
- 22,1 % a 1,8 % na sala comum do 1º Andar com porta envidraçada orientada a SE;
- 19,6 % a 3,1 % no quarto do 1º Andar com porta envidraçada orientada a NW;
- 7,5 % a 1,4 % no quarto do 3º Andar com janela orientada a NW;
- 1,3 % a 0,5 % na cozinha do Rés-do-chão com porta envidraçada na lavandaria orientada a SE;
- 1,3 % a 0,5 % na cozinha do 1º Andar com janela na lavandaria orientada a SE.

O FLD permite a caracterização da iluminação natural na pior situação possível (céu completamente encoberto) constituindo dessa forma um indicador das condições mínimas de iluminação natural de um determinado espaço ou compartimento.

Os FLD obtidos assim como a verificação dos requisitos recomendados são apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – FLD medidos e recomendados para os diversos compartimentos avaliados no Edifício 1

Compartimento	FLD recomendado (%)	FLD medido (%)
S_{1SWSE} - Sala comum do 1º Andar com portas envidraçadas orientadas a SW e SE	$\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	8,5
S_{1SE} - Sala comum do 1º Andar com porta envidraçada orientada a SE	$\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	3,1
Q_1 - Quarto do 1º Andar com porta envidraçada orientada a NW	$\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento	3,7
Q_3 - Quarto do 3º Andar com janela orientada a NW	$\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento	2,1
C_0 - Cozinha do rés-do-chão com porta envidraçada na lavandaria orientada a SE	$\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,6
C_1 - cozinha do 1º Andar com janela na lavandaria orientada a SE	$\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,6

A análise da Tabela 5.14 permite-nos concluir que o FLD medido nas salas e nos quartos cumpre as recomendações da CIE e que o FLD obtido nas cozinhas está aquém dos valores recomendados.

Os valores da iluminância obtidos para o centro dos diferentes compartimentos analisados são apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Iluminâncias medidos nos diversos compartimentos avaliados no Edifício 1

Compartimento	Iluminância recomendada (lx)	Iluminância medida (lx)
S _{1SWSE} - Sala comum do 1º Andar com portas envidraçadas orientadas a SW e SE	100 - 200	1122,6
S _{1SE} - Sala de comum do 1º Andar com porta envidraçada orientada a SE	100 - 200	425,0
Q ₁ - Quarto do 1º Andar com porta envidraçada orientada a NW	300	1003,1
Q ₃ - Quarto do 3º Andar com janela orientada a NW	300	534,5
C ₀ - Cozinha do rés-do-chão com porta envidraçada na lavandaria orientada a SE	200	99,1
C ₁ - cozinha do 1º Andar com janela na lavandaria orientada a SE	200	96,0

Edifício 2 - Habitação 2.1

A fachada principal da Habitação 2.1 é orientada a Noroeste, não possui obstáculos exteriores significativos que impeçam a entrada da iluminação natural, excepto as varandas e respectivas guardas e os elementos verticais de separação. A fachada posterior da Habitação 2.1, orientada a Sudeste, tem como obstáculos para a iluminação um edifício com maior cêrcea do lado oposto do arruamento.

As medições na Habitação 2.1 foram realizadas no dia 6 de Abril, sob condições de céu encoberto.

Sala 2.1

Os valores de FLD da Sala 2.1 estão representados na malha da Figura 5.58.

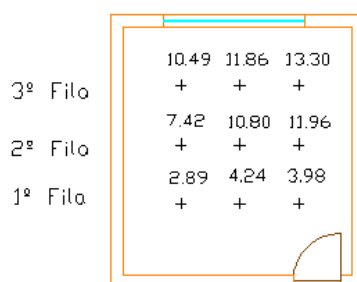


Figura 5.58 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para a Sala 2.1, Habitação 2.1

Como era esperado o valor de FLD diminui com a profundidade do compartimento. Comparando os valores com os recomendados conclui-se que estes são bastante superiores ao recomendado (FLD = 1% a meio do compartimento).

Quarto 2.1

Na Figura 5.59 está representada a malha de medição e os valores de FLD medidos.

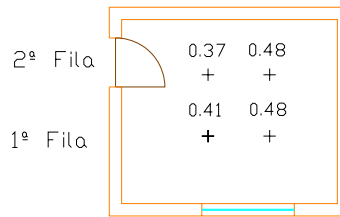


Figura 5.59 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 2.1

Pode-se concluir que estes valores (Figura 5.59) são inferiores aos recomendados (0,5% a 3/4 do comprimento do compartimento).

Cozinha 2.1

Na Figura 5.60 está representada a malha de medição e o valor de FLD medido.

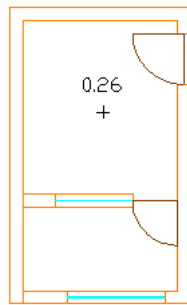


Figura 5.60 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 2.1

Na cozinha apenas se considerou um ponto de medição, localizado na posição de referência, centro do compartimento, uma vez que as suas dimensões são reduzidas. O valor de FLD para este compartimento é baixo, inferior ao recomendado, em parte por ser uma zona sem contacto directo com a envolvente exterior.

Edifício 3 - Habitação 3

A fachada principal da Habitação 3 encontra-se orientada a Sul, sendo que nesta não existem obstáculos significativos à iluminação natural. Existem apenas pequenas árvores junto aos envidraçados da sala.

As medições foram realizadas no dia 7 de Abril, com céu limpo.

Sala 3

Os valores de FLD da Sala 3 estão representados na malha da Figura 5.61.

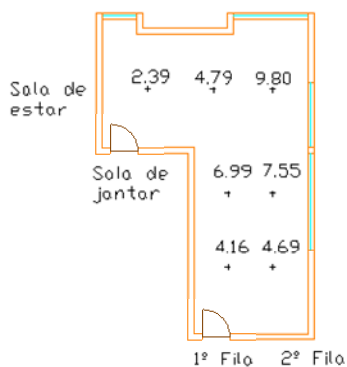


Figura 5.61 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 3, Habitação 3

Comparando os valores medidos com os valores de FLD recomendados conclui-se que estes são bastante superiores ao recomendado (FLD = 1 a meio do compartimento).

Quarto 3

Na Figura 5.62 está representada a malha de medição e os valores de FLD medidos.

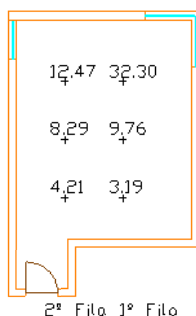


Figura 5.62 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 3

Pode-se concluir que estes valores (Figura 5.62) são superiores aos recomendados (0,5% a 3/4 do comprimento do compartimento).

Cozinha 3

Na Figura 5.63 está representada a malha de medição, com os valores respectivos.

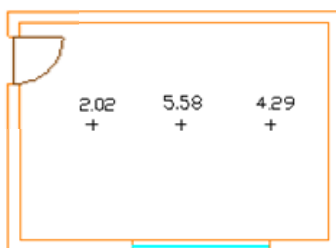


Figura 5.63 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 3

Na cozinha os pontos de medição foram definidos em função da posição de referência, centro do compartimento, uma vez que as suas dimensões são reduzidas. O valor de FLD para este compartimento é superior ao recomendado, principalmente nos dois pontos mais próximos do envidraçado, sendo esta a zona onde existe o maior nível de iluminação natural.

Edifício 4 - Habitação 4

As medições foram realizadas no dia 14 de Abril, com céu limpo.

Sala 4

Na Figura 5.64 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 4, orientada a Noroeste, em condições de iluminação natural, Factor de Luz do Dia, FLD.

Da análise da Figura 5.64 verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima de dois envidraçados, a porta de acesso à varanda e a janela. Os valores medidos são inferiores aos recomendados. Estes valores de FLD baixos devem-se, possivelmente, ao facto de as medições terem sido realizadas com as cortinas fechadas uma vez que estas são as condições de utilização do compartimento.

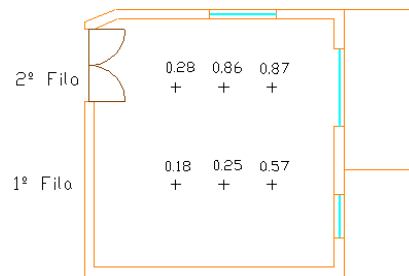


Figura 5.64 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 4, Habitação 4

Quarto 4

Na Figura 5.65 está representada a malha de medição e os valores de FLD medidos. Pode-se concluir que estes valores são superiores aos recomendados.

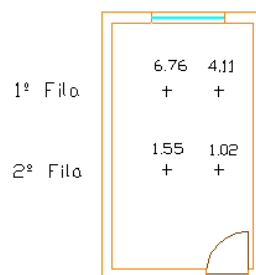


Figura 5.65 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 4

Cozinha 4

Na Figura 5.66 está representada a malha de medição, com os valores de FLD respectivos.

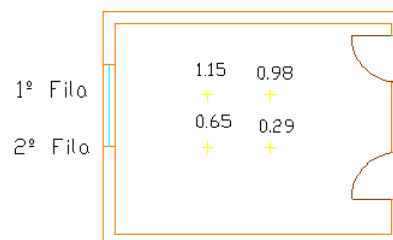


Figura 5.66 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 4

Na cozinha o valor de FLD é superior ao recomendado para este compartimento, principalmente nos dois pontos mais próximos do envidraçado, sendo esta a zona onde existe o maior nível de iluminação natural.

Edifício 5 - Habitação 5.1

A Habitação 5.1 localiza-se no 3º Andar de um edifício orientado a Noroeste e não possui obstáculos ao aproveitamento da luz natural.

Sala 5.1

Os valores de FLD da Sala 5.1 estão representados na malha da Figura 5.67.

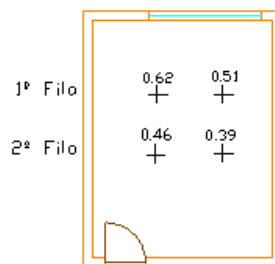


Figura 5.67 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para a Sala 5.1, Habitação 5.1

Da análise da Figura 5.67 verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima de dois envidraçados. Os valores medidos são inferiores aos recomendados, aproximadamente metade.

Quarto 5.1

Na Figura 5.68 estão representados os valores de FLD calculados.

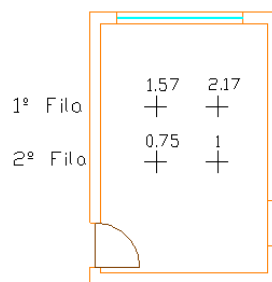


Figura 5.68 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 5.1

Pode-se concluir (Figura 5.68) que os valores do FLD são superiores aos recomendados, no entanto os valores de iluminância são inferiores aos valores recomendados pela CIE.

Cozinha 5.1

Na Figura 5.69 está representada a malha de medição e os valores de FLD respectivos.

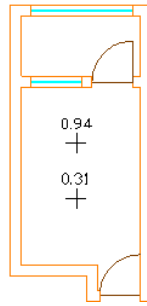


Figura 5.69 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 5.1

O valor de FLD é inferior ao recomendado (2% a 1/2 do compartimento). A existência da lavandaria entre a cozinha e o exterior é a principal causa dos baixos valores de FLD.

Edifício 6 - Habitação 6.1

Os envidraçados da Habitação 6.1 não possuem obstáculos à entrada da iluminação natural. A orientação da fachada principal é Norte. As medições foram realizadas no dia 5 de Maio, com céu limpo.

Sala 6.1

Na Figura 5.70 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 6.1, orientada a Norte, em condições de iluminação natural, Factor de Luz do Dia, FLD.

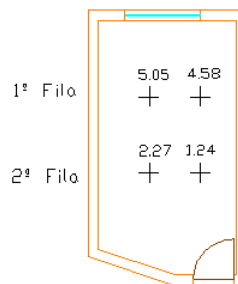


Figura 5.70 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 6.1

Da análise da Figura 5.70 verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima do envidraçado. Os valores medidos são superiores aos recomendados.

Quarto 6.1

Na Figura 5.71 está representada a malha de medição e os valores do Factor de Luz do Dia medido.

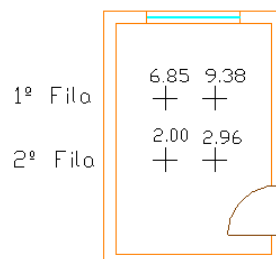


Figura 5.71 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 6.1

Analisando os valores disponíveis na malha da Figura 5.71, conclui-se que os FLD eram superiores ao recomendado.

Cozinha 6.1

Na Figura 5.72 está representada a malha de medição, com os valores de FLD respectivos.

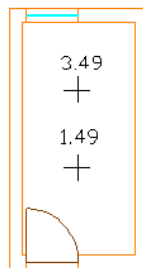


Figura 5.72 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 6.1

Na cozinha o valor de FLD é superior ao recomendado para este compartimento, mas a iluminância é muito inferior ao valor recomendado (200 Lx).

Edifício 7 - Habitação 7.1

As medições na Habitação 7.1 foram realizadas no dia 5 de Maio, com céu limpo.

Sala 7.1

Os valores de FLD da Sala 7.1, orientada a Nordeste, estão representados na malha da Figura 5.73.

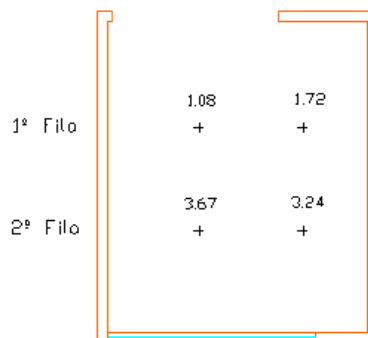


Figura 5.73 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 7.1, Habitação 7.1

Da análise da Figura 5.73 verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima do envidraçado.

Quarto 7.1

Na Figura 5.74 está representada a malha de medição e os valores do FLD medidos.

Como se pode verificar através da análise da Figura 5.74 os valores do FLD são superiores aos valores recomendados, mas os valores da iluminância, excepto num ponto são inferiores aos recomendados.

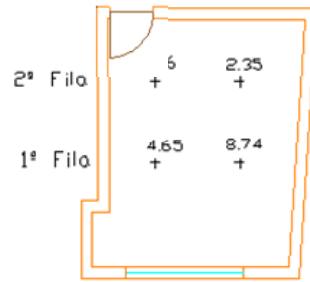


Figura 5.74 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 7.1

Cozinha 7.1

Na Figura 5.75 está representada a malha de medição, com os valores de FLD respectivos.

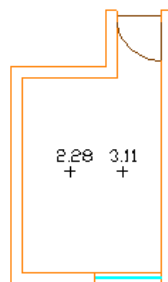


Figura 5.75 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 7.1

O valor de FLD é superior ao recomendado para este tipo de compartimento, tal como a Figura 5.75 mostra.

Edifício 8 - Habitação 8.2

As medições realizadas na Habitação 8.2 foram realizadas no dia 22 de Dezembro (14h40min), com céu encoberto.

Sala 8.2

Na Habitação 8.2 foram avaliadas as condições de iluminação natural na Sala comum (Figura 5.76), para duas situações distintas, com os sistemas de sombreamento desactivados e com os sistemas de sombreamento activos.

As janelas são giratórias em alumínio, sem corte térmico, com vidro duplo incolor, com persianas de plástico de cor branca e cortinas transparentes de cor clara.

Na Tabela 5.16 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 8.2, com envidraçados orientados a Norte e a Este, em condições de iluminação natural, iluminância e Factor de Luz do Dia, FLD.

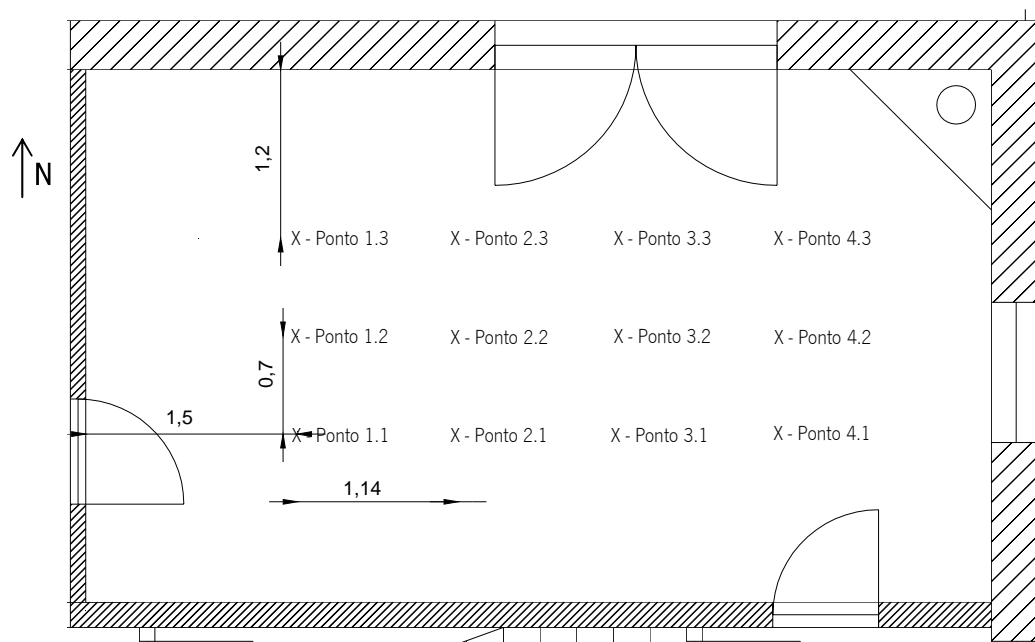


Figura 5.76 - Planta da sala da Habitação 8.2, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD

Tabela 5.16 - Iluminância e FLD obtidos para a Sala 8.2 em condições de iluminação natural

Sala comum	Ponto	Iluminância (lx)			FLD (%)			
		Exterior	1	2	3	1	2	3
Persianas e cortinas e abertas	1	4229,5	79,2	88,4	73,2	0,74	0,83	0,69
	2	4148,0	112,1	118,2	208,7	1,07	1,13	1,99
	3	4070,5	167,8	136,0	297,3	1,63	1,32	2,89
	4	3985,3	204,8	141,3	272,2	2,03	1,40	2,70
Persianas abertas e cortinas fechadas	1	4265,4	27,6	27,6	30,2	0,26	0,26	0,28
	2	4223,8	35,5	32,2	52,7	0,33	0,30	0,49
	3	3958,8	42,1	34,2	77,2	0,42	0,34	0,77
	4	4021,3	54,0	39,5	69,2	0,53	0,39	0,68

Os valores de FLD da Sala 8.2 estão representados na malha da Figura 5.77 e na Tabela 5.16.

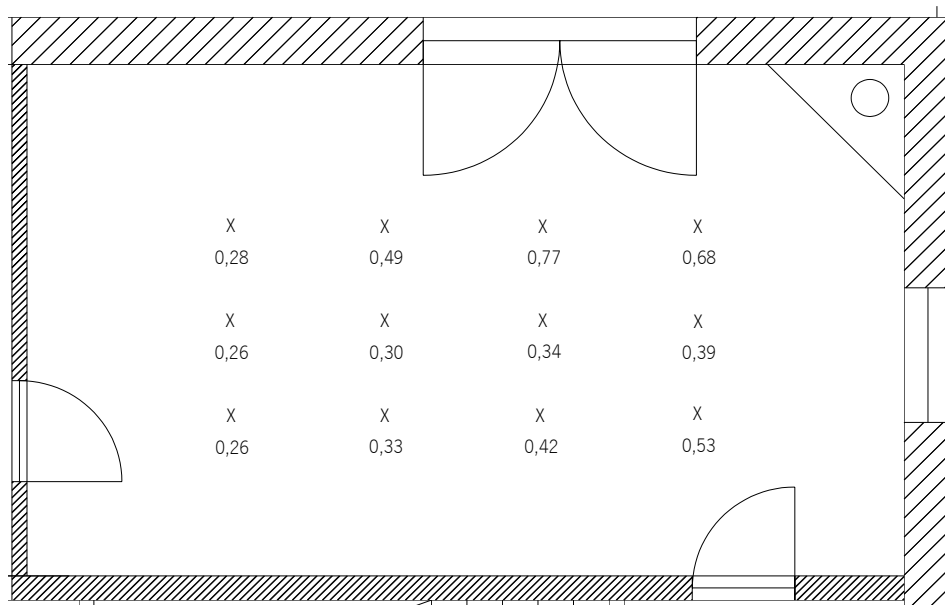


Figura 5.77 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 8.2

Da análise da Figura 5.77 e da Tabela 5.16 verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima do envidraçado. Os valores de iluminância e de FLD medidos são inferiores aos valores recomendados se as cortinas se encontrarem fechadas e superiores aos valores recomendados (excepto junto à parede interior a Oeste, mais afastada dos envidraçados) se as cortinas se encontrarem abertas.

Edifício 9 - Habitação 9.2

As medições na Habitação 9.2 foram realizadas no dia 04 de Fevereiro (15h00min), com céu encoberto.

Sala 9.2

Na Habitação 9.2 foram avaliadas as condições de iluminação natural na Sala comum (Figura 5.78), para duas situações distintas, com os sistemas de sombreamento desactivados e com os sistemas de sombreamento activos.

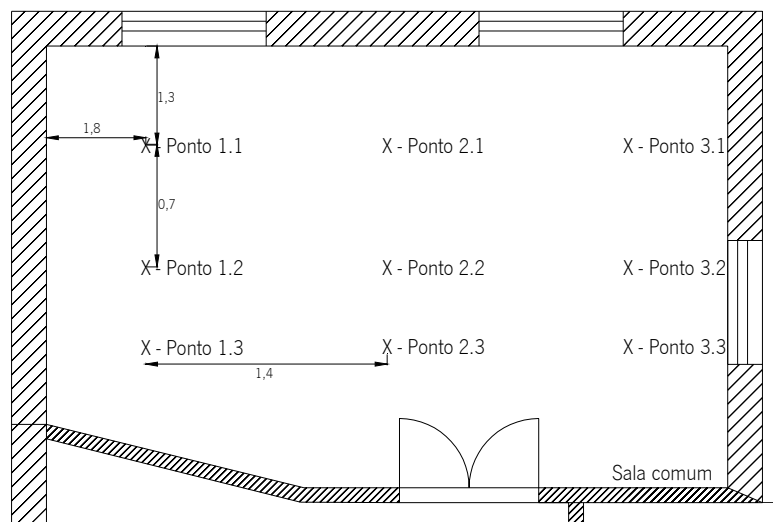


Figura 5.78 – Planta da sala da Habitação 9.2, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD

As janelas são correr em alumínio, sem corte térmico, com vidro duplo incolor, com persianas de plástico de cor branca e cortinas muito transparentes de cor clara.

Na Tabela 5.17 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 9.2, com envidraçados orientados a Nordeste e a Sul, em condições de iluminação natural, iluminância e Factor de Luz do Dia, FLD.

Tabela 5.17 – Iluminância e FLD obtidos para a Sala 9.2 em condições de iluminação natural

Sala comum	Ponto	Iluminância (lx)			FLD (%)			
		Exterior	1	2	3	1	2	3
Persianas e cortinas e abertas	1	5364,9	204,2	85,2	82,5	1,51	0,63	0,61
	2	5453,9	68,6	87,1	83,2	0,50	0,63	0,60
	3	4071,4	130,8	101,0	257,8	1,27	0,98	2,51
Persianas abertas e cortinas fechadas	1	6258,8	58,7	33,6	30,9	0,37	0,21	0,20
	2	5052,5	36,2	32,9	32,9	0,28	0,26	0,26
	3	3740,0	49,4	34,9	43,5	0,52	0,37	0,46

Os valores de FLD da Sala 9.2 estão representados na malha da Figura 5.79 e na Tabela 5.17.

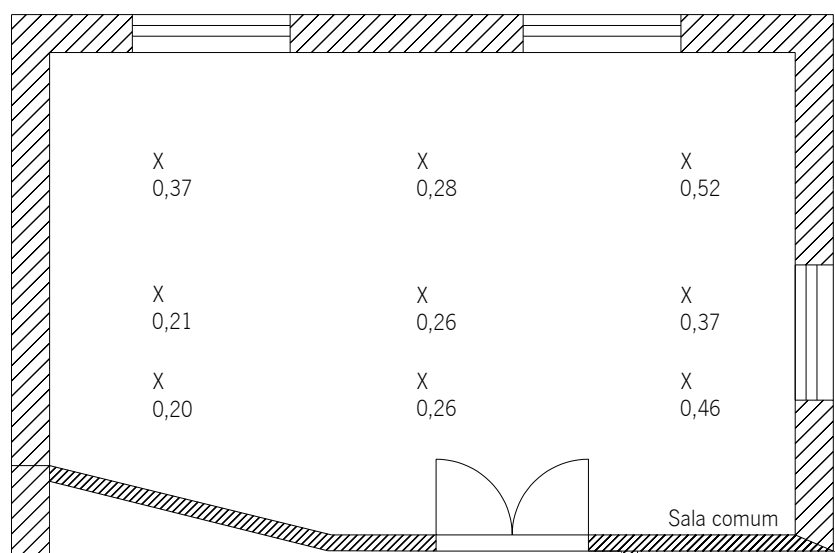


Figura 5.79 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 8.1, Habitação 8.1

Da análise da Figura 5.77 e da Tabela 5.17 verifica-se que os valores de iluminância e de FLD medidos são inferiores aos valores recomendados se as cortinas se encontrarem fechadas e próximos aos valores recomendados se as cortinas se encontrarem abertas.

Análise do Comportamento Lumínico dos Edifícios

Os FLD obtidos assim como a verificação dos requisitos recomendados para os Edifícios 2 a 7 são apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 – FLD medidos e recomendados para os diversos compartimentos avaliados

Edifício	Compartimento	FLD recomendado (%)	FLD medido (%)
2	Sala 2.1	Sala: $\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	10,06
	Quarto 2.1	Quarto: $\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento	0,43
	Cozinha 2.1	Cozinha: $\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,26
3	Sala 3	Sala: $\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	7,27
	Quarto 3	Quarto: $\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento	3,70
	Cozinha 3	Cozinha: $\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	3,96
4	Sala 4	Sala: $\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,56
	Quarto 4	Quarto: $\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento	1,26
	Cozinha 4	Cozinha: $\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,63
5	Sala 5.1	Sala: $\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,43
	Quarto 5.1	Quarto: $\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento	0,88
	Cozinha 5.1	Cozinha: $\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,31
6	Sala 6.1	Sala: $\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	1,76
	Quarto 6.1	Quarto: $\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento	2,48
	Cozinha 6.1	Cozinha: $\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	1,49
7	Sala 7.1	Sala: $\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	1,40
	Quarto 7.1	Quarto: $\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento	2,10
	Cozinha 7.1	Cozinha: $\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	2,28
8	Sala 8.2	Sala: $\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,32 / 1,22
9	Sala 9.2	Sala: $\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento	0,26 / 0,63

A análise da Tabela 5.18 permite-nos verificar que o FLD medido nas salas, excepto a Sala 4 e a sala 5.1, e nos quartos, excepto o Quarto 2.1, está de acordo com as recomendações da CIE e que o FLD obtido nas cozinhas, excepto a Cozinha 3, que possui dois envidraçados em paredes laterais, está aquém dos valores recomendados.

Os compartimentos com melhor desempenho são os que possuem envidraçados em duas paredes laterais, Quarto 2.1 e, os que possuindo só um envidraçado, ele se localiza numa das paredes de maiores dimensões.

Os compartimentos com piores Factores de Luz do Dia são os que apresentam envidraçados nas paredes de menores dimensões e com maior profundidade.

Do estudo realizado pode também concluir-se que a existência de lavandarias entre a cozinha e o exterior é um factor condicionante para as más condições de iluminação natural no seu interior.

O facto de um compartimento possuir uma Superfície Relativa de Área Envidraçada – SRAE – obtida através do quociente entre a Área útil de envidraçado e a Área útil de pavimento, da ordem dos 15 a 20% não é uma garantia de que este possua boas condições de iluminação natural, uma vez que a forma e localização do envidraçado e a profundidade do compartimento são um factor determinante para a obtenção de uma iluminação natural eficaz.

Os valores da iluminância obtidos para o centro dos diferentes compartimentos analisados são apresentados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 – Iluminâncias medidos nos diversos compartimentos avaliados no Edifício 2 a 7

Edifício	Compartimento	Iluminância recomendada (lx)	Iluminância medida (lx)
2	Sala 2.1	Sala: 100 - 200	353,8
	Quarto 2.1	Quarto: 300	7,5
	Cozinha 2.1	Cozinha: 200	2,3
3	Sala 3	Sala: 100 - 200	468,2
	Quarto 3	Quarto: 300	512,3
	Cozinha 3	Cozinha: 200	340,3
4	Sala 4	Sala: 100 - 200	15,9
	Quarto 4	Quarto: 300	140,6
	Cozinha 4	Cozinha: 200	77,2
5	Sala 5.1	Sala: 100 - 200	7,7
	Quarto 5.1	Quarto: 300	38,9
	Cozinha 5.1	Cozinha: 200	21,6
6	Sala 6.1	Sala: 100 - 200	73,0
	Quarto 6.1	Quarto: 300	98,3
	Cozinha 6.1	Cozinha: 200	59,8
7	Sala 7.1	Sala: 100 - 200	130,0
	Quarto 7.1	Quarto: 300	252,0
	Cozinha 7.1	Cozinha: 200	109,9
8	Sala 8.2	Sala: 100 - 200	43,5 / 158,3
9	Sala 8.2	Sala: 100 - 200	39,2 / 122,3

Nos Quartos e Salas estudados verificou-se que as dimensões dos envidraçados, a sua geometria e localização não são benéficas para assegurar as condições de iluminação natural. Em geral a existência de envidraçados numa parede, que em geral é a de menores dimensões, e dada a profundidade dos compartimentos, não conduz à existência de condições de iluminação natural adequadas. Esta situação é mais visível nos edifícios multifamiliares mais antigos, Edifício 5 de 1976, Edifício 6 de 1977 e também no Edifício 4, de 1993, que é uma habitação unifamiliar geminada.

Nos edifícios mais recentes, cuja área de envidraçados é mais elevada as condições de iluminação natural são melhores.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação do comportamento acústico realizada.

5.4 Avaliação do Comportamento Acústico

A avaliação da qualidade acústica dos edifícios, é subjectiva e depende da herança pessoal, socioeconómica e cultural dos ocupantes, mas pode ser baseada em critérios físicos mesuráveis, descritos na literatura especializada e nas normas internacionais.

A avaliação do desempenho acústico dos edifícios foi feita através da determinação in situ dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão, normalizados de acordo com o tempo de reverberação, de cada elemento construtivo e também do nível sonoro medido nos quartos e zonas de estar, de acordo com a normalização nacional e internacional.

As medições acústicas foram realizadas de acordo com a normalização em vigor, NP^o1730-1 e com a EN 15251, para a avaliação do nível sonoro medido no quarto, na sala e na cozinha (NP^o1730-1, 1996; EN 15251, 2007).

As normas utilizadas para a avaliação do isolamento sonoro dos elementos construtivos foram a NP EN ISO 140, Parte 4 para elementos de compartimentação, Parte 5, para as paredes de fachada e Parte 7 para isolamento a sons de percussão e a EN ISO 717, Parte 1 para sons de condução aérea e Parte 2 para sons de percussão (NP EN ISSO 140-4, 2000; NP EN ISO 140-5, 2000; NP EN ISO 140-7, 2000; EN ISO 717-1, 1996; EN ISO 717-2, 1996).

Os aspectos normativos e regulamentares relativos à realização das medições de avaliação do nível sonoro no interior dos edifícios e do isolamento sonoro dos elementos construtivos estão descritos no Anexo II e no Anexo IV.

5.4.1 Resultados da Avaliação das Condições de Conforto Acústico

Para avaliar a qualidade acústica dos edifícios utilizou-se a metodologia e os valores limites definidos na EN^o15251 no estudo efectuado.

Foram efectuadas três medições em cada compartimento (quarto, sala e cozinha), em pontos distintos, de acordo com as regras definidas na norma NP^o1730-1, sendo posteriormente calculado o nível sonoro em cada compartimento, através da média logarítmica das 3 medições realizadas.

Edifício 2 - Habitação 2.1

Os resultados da avaliação do nível sonoro realizada na Habitação 2.1, situada num 1^o andar de um edifício situado junto a uma via com elevada circulação automóvel, são apresentados na Tabela 5.20, sendo apresentados os valores do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, medidos em cada compartimento, a média logarítmica das medições e a respectiva verificação normativa em função do uso do compartimento.

Tabela 5.20 – Valores de $L_{Aeq,T}$ em dB(A), medidos na Habitação 2.1

	Med.1	Med.2	Med.3	Médio	Ruído predominante	Valores Ref.	Verif.
Sala	50,5	47,2	45,8	48,3	Exterior	25 - 40	Não
Cozinha	49,1	44,5	47,5	47,4	Frigorífico e exterior	25 - 40	Não
Quarto	45,0	38,5	41,0	42,3	Exterior	20 - 35	Não

Pela análise dos dados (Tabela 5.20) é possível verificar que o nível de sonoro medido ultrapassava o valor recomendado pela EN^o15251 em todos os compartimentos.

Os valores obtidos deviam-se principalmente do facto da fachada principal que possui um envidraçado, com caixilharia de correr, de significativas dimensões (2,2 x 2,0 m²), voltado para uma via com significativa afluência de tráfego.

Edifício 3 - Habitação 3

Os resultados da avaliação do nível sonoro realizada na Habitação 3 (habitação unifamiliar isolada, de tipologia T4, com 2 pisos), localizada nas proximidades de uma via de tráfego com média densidade são os apresentados na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 3

	Med.1	Med.2	Med.3	Médio	Ruído predominante	Valores Ref.	Verif.
Sala	58,1	56,8	57,4	57,5	Electrodomésticos	25 - 40	Não
Cozinha	44,9	48,5	47,3	47,1	Equipamentos	25 - 40	Não
Quarto	43,7	46,7	37,4	44,0	Equipamentos	20 - 35	Não

Pela análise dos resultados (Tabela 5.21) verifica-se que não são cumpridos os valores definidos pela EN°15251. Estes valores são sobretudo devido ao ruído provocado pelos electrodomésticos e equipamentos (computadores), já que a habitação se encontra situada numa zona relativamente calma.

Edifício 4 - Habitação 4

Na Habitação 4, habitação unifamiliar geminada, do tipo T3, foram medidos os valores de nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, apresentados na Tabela 5.22.

Pela análise da Tabela 5.22 é possível verificar que os níveis do ruído medidos eram superiores aos recomendados pela EN°15251. O nível sonoro atingiu os valores mais elevados na sala, o que se deve ao ruído exterior, uma vez que os envidraçados se encontravam voltados para uma estrada com afluência significativa de tráfego, mas também pelos electrodomésticos.

Tabela 5.22 – Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 4

	Med.1	Med.2	Med.3	Médio	Ruído predominante	Valores Ref.	Verif.
Sala	54,1	50,8	48,6	51,2	Exterior e equipamentos	25 - 40	Não
Cozinha	39,8	44,7	44,6	43,0	Electrodomésticos	25 - 40	Não
Quarto	37,2	38,2	35,3	36,9	Exterior e equipamentos	20 - 35	Não

Os valores medidos na cozinha e no quarto (anexos a uma via com menor circulação automóvel) eram próximos da gama recomendada.

Edifício 5 - Habitação 5.1

Na Habitação 5.1, apartamento de tipologia T3, localizado junto a uma via com elevada circulação automóvel, foram registados os valores de nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, apresentados na Tabela 5.23.

Tabela 5.23 – Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 5.1

	Med.1	Med.2	Med.3	Médio	Ruído predominante	Valores Ref.	Verif.
Sala	59,0	58,2	56,2	57,9	Exterior	25 - 40	Não
Cozinha	48,6	45,2	45,8	46,8	Electrodomésticos e exterior	25 - 40	Não
Quarto	53,5	48,9	47,5	50,8	Exterior	20 - 35	Não

Pela análise da Tabela 5.23 verifica-se que os níveis sonoros medidos não cumpriam as recomendações da EN°15251.

Nesta habitação a principal fonte de ruído era a circulação automóvel, uma vez que a esta está inserida numa zona urbana com elevada circulação automóvel e a qualidade acústica da envolvente não é adequada (os envidraçados, com área significativa, são de vidro simples e a caixilharia é de correr).

Edifício 6 - Habitação 6.1

Na Tabela 5.24 apresentam-se os valores do nível sonoro medido na Habitação 6.1, apartamento, de tipologia T3, com 68 m² e localizado no 5º andar de um edifício multifamiliar inserido numa zona com elevada circulação automóvel.

Tabela 5.24 – Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 6.1

	Med.1	Med.2	Med.3	Médio	Ruído predominante	Valores Ref.	Verif.
Sala	60,7	62,9	58	61,0	Exterior e equipamentos	25 - 40	Não
Cozinha	50,5	54,5	52,9	52,9	Electrodomésticos e exterior	25 - 40	Não
Quarto	43,9	44,9	51,0	47,8	Exterior	20 - 35	Não

Pela análise da Tabela 5.24 verifica-se que os resultados obtidos não cumpriam as recomendações da EN°15251.

Nesta habitação a principal fonte de ruído era também a circulação automóvel, uma vez que a esta está inserida numa zona urbana com elevada circulação automóvel e a qualidade acústica da envolvente não é adequada (os envidraçados, com área significativa, são de vidro simples e a caixilharia é de correr).

Os níveis de ruído medidos podem causar desde desconforto, podendo os ocupantes ambientar-se, até situações de stress e desconforto contínuo, no caso dos valores superiores a 55 dB(A).

Edifício 7 - Habitação 7.1

Na Habitação 7.1, apartamento de tipologia T1 localizado na imediação de uma via com elevada circulação automóvel, com elevada área de envidraçados (com caixilharia de correr), foram medidos os níveis sonoros apresentados na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 – Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 7.1

	Med.1	Med.2	Med.3	Médio	Ruído predominante	Valores Ref.	Verif.
Sala	52,4	50,7	53,4	52,3	Exterior	25 - 40	Não
Cozinha	43,4	43,3	42,3	43,0	Electrodomésticos e exterior	25 - 40	Não
Quarto	41,2	41,9	43,1	42,1	Exterior	20 - 35	Não

Tal como mostram os resultados apresentados na Tabela 5.25, os valores do nível sonoro obtidos ultrapassam a gama recomendada pela prEN°15152, sendo próximos no caso da cozinha e do quarto. A sala é o compartimento com maior área de envidraçado, ocupando este quase a totalidade da parede e também o que apresenta maior nível sonoro.

Edifício 8 - Habitação 8.1 e Habitação 8.2

Os níveis sonoros registados na Habitação 8.1 e na Habitação 8.2 são apresentados na Tabela 5.26. A circulação automóvel na rua adjacente ao Edifício 8 é pouco significativa.

Uma vez que o local de implantação do edifício é tranquilo, na Habitação 8.1 apenas na cozinha são ligeiramente ultrapassados os valores de referência definidos na prEN°15152, tal como mostra a Tabela 5.26 e na Habitação 8.2 os valores de referência definidos na prEN°15152 são respeitados.

Tabela 5.26 – Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 8.1 e na Habitação 8.2

	Med.1	Med.2	Med.3	Média	Ruído predominante	Valores Ref.	Verif.
Sala 8.1	37,8	37,4	36,6	37,3	Exterior e equipamentos	25 - 40	Sim
Cozinha 8.1	40,4	41,8	38,3	40,2	Electrodomésticos e exterior	25 - 40	Não
Quarto 8.1	38,5	36,2	35,3	36,7	Exterior	20 - 35	Não
Sala 8.2	35,4	36,7	33,8	35,3	Exterior e equipamentos	25 - 40	Sim
Cozinha 8.2	40,4	41,8	38,3	39,5	Electrodomésticos e exterior	25 - 40	Sim
Quarto 8.2	35,8	34,8	35,1	35,2	Exterior	20 - 35	Sim

Os níveis sonoros medidos nos compartimentos das habitações estudadas, bem como a verificação dos requisitos recomendados para os Edifícios 2 a 8 são apresentados na Tabela 5.27.

Tabela 5.27 – Nível sonoro medido e recomendado para os diversos compartimentos avaliados nos compartimentos dos Edifícios 2 a 8

Habitação Compartimento	Valor medido (dB(A))								Valores Referência (dB(A))
	2.1	3	4	5.1	6.1	7.1	8.1	8.2	
Sala Comum	48,3	57,5	51,2	57,9	61,0	52,3	37,3	35,3	25 - 40
Cozinha	47,4	47,1	43,0	46,8	52,9	43,0	40,2	39,5	25 - 40
Quarto	42,3	44,0	36,9	50,8	47,8	42,1	36,7	35,2	20 - 35

O ruído dos electrodomésticos e dos equipamentos e em especial o ruído proveniente do exterior são as principais causas dos níveis sonoros medidos nos edifícios, em conjugação com a área e a qualidade acústica dos envidraçados.

5.4.2 Resultados da Avaliação do isolamento acústico in situ

CÉLULAS DE TESTE DE EDIFÍCIOS NÃO CONVENCIONAIS

As células de teste e os elementos construtivos ensaiadas estão representadas na Figura 5.80.

As Células de Teste e as respectivas soluções construtivas são descritas no Capítulo 3.

Na célula de teste 1, Célula de Teste não-Convencional, foi avaliado o comportamento acústico de três soluções construtivas, uma leve (uma parede do tipo sanduíche) e duas pesadas (duas paredes de adobe, com 15 cm, uma simples, sem isolamento, e outra dupla, com 15 cm de adobe, 5,0 cm de aglomerado negro de cortiça, caixa-de-ar de 4,0 cm e placas de cimento com aparas de madeira com 1,2 cm).

A solução leve é uma parede múltipla, com, do interior para o exterior, placas de gesso cartonado com 1,3 cm, 2,0 cm de fibra de coco, 8,0 cm de aglomerado negro de cortiça, placas de cimento com aparas de madeira com 1,9 cm, caixa-de-ar com 6,0 cm e placas de cimento com aparas de madeira de 1,2 cm.

A célula de teste 2, Célula de Teste Convencional possui paredes duplas de tijolo cerâmico furado, rebocadas em ambas as faces (2 cm), constituídas por (do interior para o exterior) tijolo furado de 11 cm, caixa-de-ar de 4 cm, poliestireno expandido extrudido com 4 cm de espessura e tijolo furado de 15 cm.

Na Parede Sul das células de teste existe um envidraçado, constituído por vidro simples de 6 mm, com caixilharia de alumínio, de abrir na célula não convencional e de correr na célula convencional.

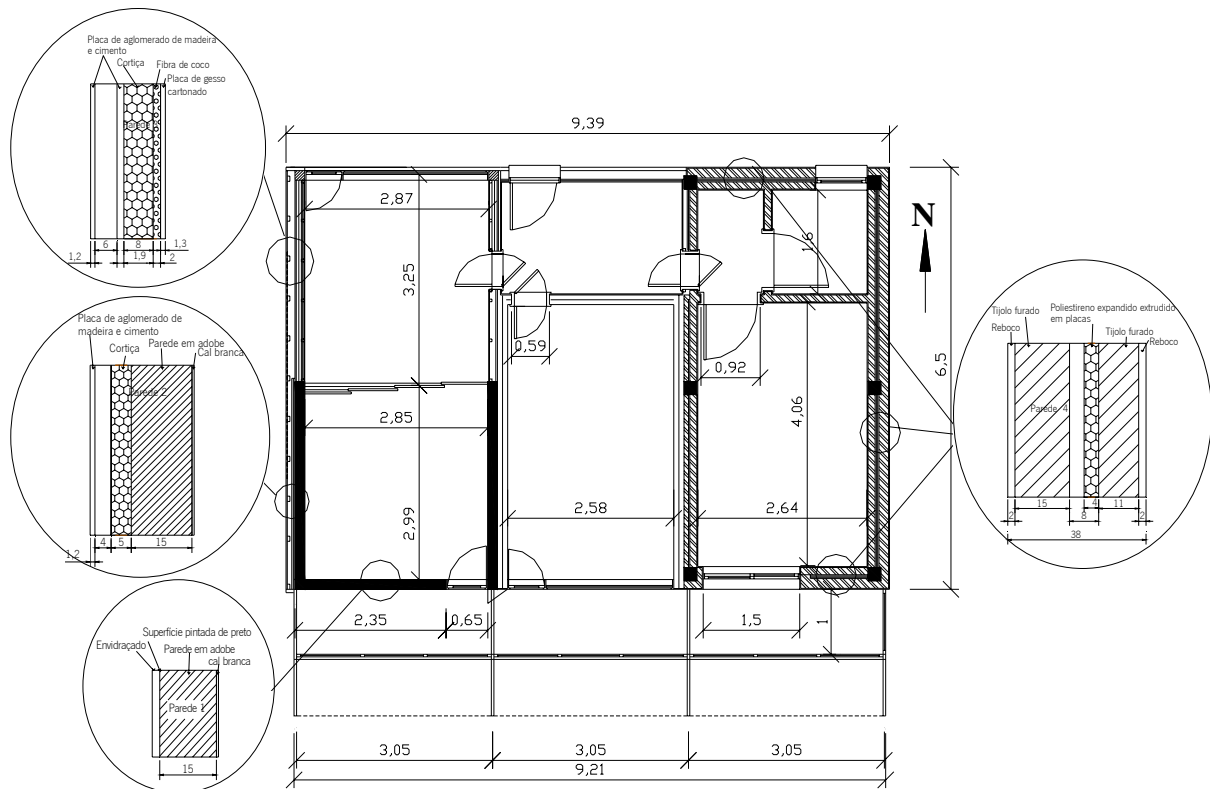


Figura 5.80 – Representação esquemática das células de teste e das soluções construtivas ensaiadas (distancias em metros)

No Anexo IV apresentam-se as características dos elementos construtivos.

Esta avaliação do comportamento acústico foi realizada para a célula de teste convencional e não convencional e para quatro tipos de paredes existentes.

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m, nT, w}$, entre o exterior e o interior das células de teste foi determinado in situ, para três situações:

- o primeiro conjunto de medições foi realizado para a parede Sul antes da colocação da marquise envidraçada, não estando a Célula de Teste 1 dividida (Caso 1);
- as segundas medições foram feitas para a parede Este e Oeste com a divisória de madeira móvel aberta e fechada (Caso 2);
- os terceiros ensaios foram levados a cabo para as paredes Sul, com a marquise envidraçada colocada a 0,1 m e a 1,0 m da superfície da parede das Células 1 e 2, estando a divisória móvel em madeira da Célula de Teste 1 aberta e fechada (Caso 3).

Das medições realizadas, apresentadas na Tabela 5.28, foi possível concluir que a solução convencional é a que apresenta, na maior parte dos casos melhor comportamento acústico. Este facto justifica-se devido à maior massa das soluções convencionais que neste caso é, em média, 54% superior à massa das soluções não convencionais.

Tabela 5.28 - Desempenho acústico das células de teste - $D_{2m,nT,w}$ (Caso 1 - sem a marquise e com a divisória aberta; Caso 2 - com a marquise e com a divisória aberta (A) e fechada (F); e Caso 3 - com a marquise a 0,1 m e a 1,0 m e com a divisória aberta (A) e fechada (F))

Elemento		$D_{2m,nT,w}$ [dB]		
		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Soluções não convencionais				
Fachada Sul sem marquise (Parede1)		28	-	-
Fachada Sul (Parede1)	Envidraçado a 0,1 m (A / F)	-	-	30 / 36
	Envidraçado a 1,0 m (A / F)	-	-	34 / 37
Fachada Oeste (Parede2)		-	43	-
Fachada Oeste	Zona Sul (Parede2)	-	47	-
	Zona Norte (Parede3)	-	41	-
Solução convencional				
Fachada Sul sem marquise (Parede4)		23	-	-
Fachada Sul (Parede4)	Envidraçado a 0,1 m	-	-	35
	Envidraçado a 1,0 m	-	-	40
Fachada Este (Parede4)		-	47	-
Limite Regulamentar (Zonas Sensíveis / Zonas Mistas)		28 / 33		

Adicionalmente, na Figura 5.81, na Figura 5.82 e na Figura 5.83 são apresentados alguns resultados, por frequência, para as soluções construtivas estudadas e para as três situações analisadas. Nestas figuras é também observável que as paredes sem fenestração têm o melhor desempenho acústico, como é o caso da parede Este (solução convencional) e da parede Oeste (não convencional). A parede convencional Sul, com maior massa, mas também com maior área de envidraçado, é a parede que tem o menor índice de isolamento sonoro a sons aéreos.

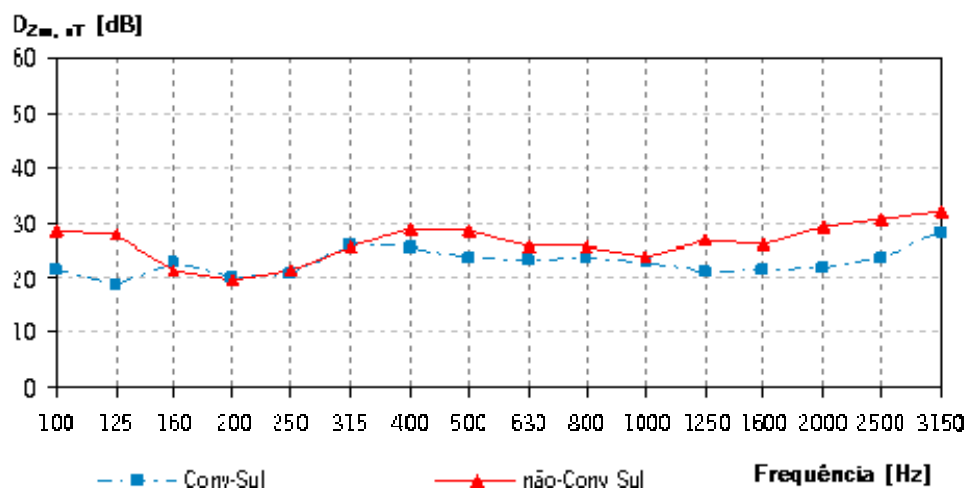


Figura 5.81 - Isolamento sonoro das paredes Sul das Células de Teste 1 e 2 - Caso 1

As medições efectuadas mostram também a grande influência da área de envidraçado no desempenho acústico global de uma parede: a parede Sul da célula de teste convencional, que tem uma área de envidraçado 52% superior à da parede Sul da célula de teste não convencional tem um índice de isolamento sonoro 5 dB menor. Quando comparadas as paredes convencionais Sul e a Este, que têm a

mesma massa por metro quadrado, a diferença do índice de isolamento sonoro é de 24 dB, o que demonstra mais uma vez a influência de elementos acusticamente mais fracos, os envidraçados.

Comparando as paredes não convencionais, a parede Sul e a zona Sul da parede Oeste, a diferença de isolamento sonoro é de 19 dB, o que mostra, uma vez mais, que a parte envidraçada de uma parede tem uma forte influência no seu isolamento acústico e que a sua inclusão num elemento de construção deve ser correctamente ponderada. Assim, para melhorar o desempenho acústico de elementos heterogéneos é necessário usar envidraçados e caixilharias de janelas de elevada qualidade acústica.

A zona Sul da parede Oeste da célula de teste não convencional e a parede Este da célula de teste convencional, ambas pesadas e sem janelas, são as paredes que têm o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$, mais elevado e apresentam um comportamento semelhante, como mostra a Figura 5.82.

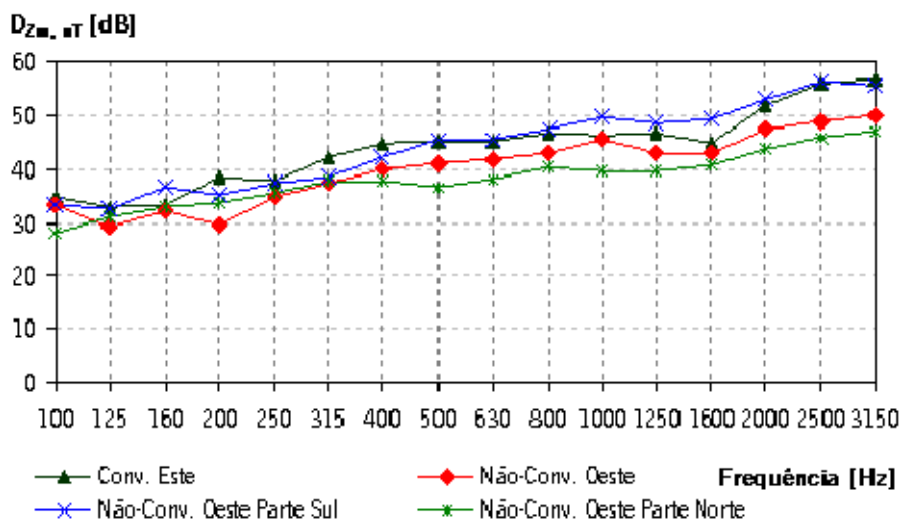


Figura 5.82 - Isolamento sonoro das paredes Este e Oeste das Células de Teste 1 e 2 - Caso 2

A Figura 5.83 mostra a influência do posicionamento da marquise envidraçada. A localização da marquise a 1 m da fachada é a que conduz a um melhor comportamento acústico; neste caso o índice de isolamento sonoro é 3 a 5 dB mais elevado do que quando a marquise está posicionada a 10 cm da parede.

É de salientar que a massa ponderada da parede Oeste (Célula de Teste 1), obtida em função da área e da massa das paredes 2 e 3, é 59% inferior à massa da parede Este (Célula de Teste 2) e que o seu índice de isolamento sonoro é 4 dB menor do que o da parede convencional.

De acordo com a Lei da Massa, para um elemento duplo, a redução da transmissão sonora é de 6 dB cada vez que a massa dos elementos ou a frequência duplica. Assim, este estudo mostrou que a célula de teste convencional, mais pesada, apresenta um desempenho acústico superior, mas as soluções não convencionais testadas, tendo em consideração todos os parâmetros envolvidos, apresentam um comportamento acústico similar e adequado às exigências regulamentares em vigor. As soluções não convencionais estudadas apesar de terem um pior desempenho acústico, apresentam, no entanto, vantagens sob o ponto de vista da sustentabilidade uma vez possuem baixa energia incorporada e não originam resíduos nocivos ao ambiente pois são constituídas por materiais naturais (terra, cortiça, fibra de coco, madeira).

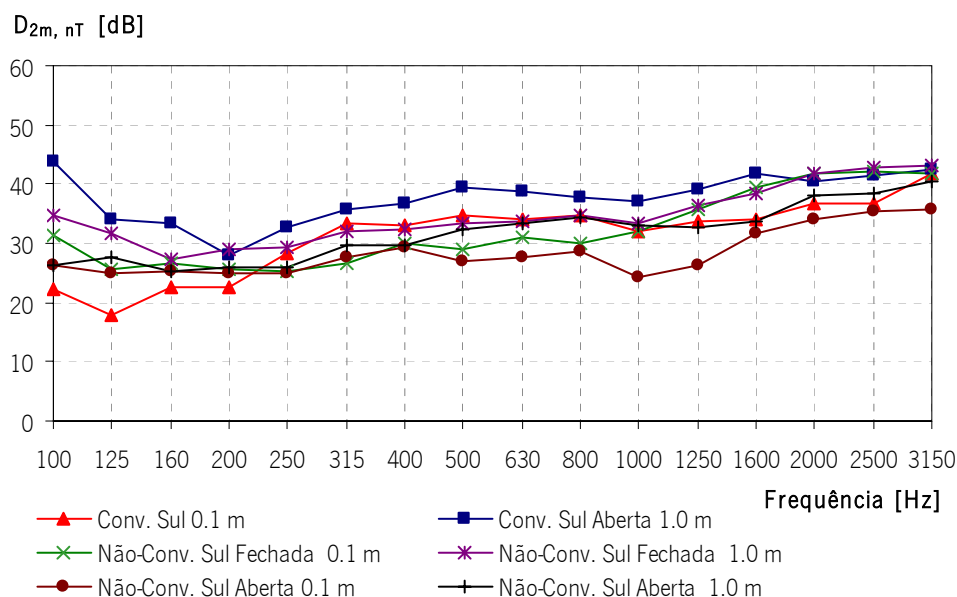


Figura 5.83 - Isolamento sonoro das células de teste - Caso 3

EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

No Anexo IV apresentam-se os resultados da avaliação do isolamento acústico in situ, em vários edifícios de habitação e mistos, sendo avaliadas diversas soluções construtivas.

De seguida apresentam-se alguns exemplos dos elementos construtivos analisados, paredes de fachada, depois as paredes interiores e por último os pavimentos.

Paredes Exteriores de Fachada

Parede exterior 4 (ParE4)

A parede 4 é uma parede dupla de tijolo cerâmico, sendo o pano exterior em tijolo maciço com 11 cm e o pano interior em tijolo furado com 15 cm, a caixa-de-ar, de 5 cm, é parcialmente preenchida com 4 cm de poliuretano projectado. A parede é revestida na sua face interior com 1,5 cm de estuque (Figura 5.84). A caixilharia possui um vidro duplo 6+8+5 (mm), sendo o estore em PVC e a caixa de estore é de betão

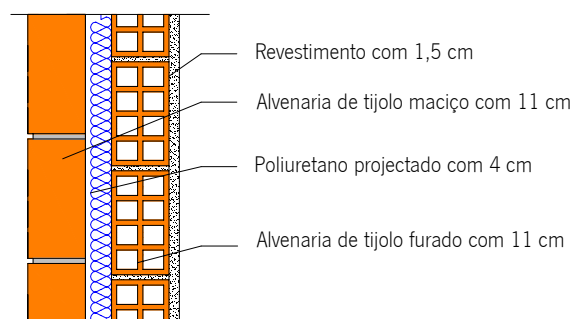


Figura 5.84 - Parede exterior tipo 4 - ParE4

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.29.

Tabela 5.29 – Dados relativos aos recintos receptores – ParE4

Elemento Construtivo	Área do Elemento Construtivo	Área Envidraçado	Área do Recinto Receptor	Volume do Recinto Receptor
ParE4.1 (Quarto)	6,4 m ²	1,6 m ²	10,5 m ²	31,8 m ³
ParE4.2 (sala)	8,4 m ²	5,6 m ²	24,9 m ²	62,3 m ³

Na Tabela 5.30 e na Figura 5.85 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede exterior 4, ParE4.

Tabela 5.30 – Dados relativos às medições acústicas da ParE4.1 e da ParE4.2

Frequência [Hz]	ParE4.1	ParE4.2
	$D_{2m,nT}$ [dB]	$D_{2m,nT}$ [dB]
100	17,1	19,2
125	18,1	20,6
160	23,8	18,6
200	23,5	23,3
250	27,9	25,2
315	26,6	23,2
400	29,2	23,5
500	30,1	23,6
630	29,8	23,9
800	33,3	25,0
1000	28,3	27,2
1250	25,7	29,6
1600	27,0	29,2
2000	34,7	31,3
2500	29,5	30,9
3150	28,6	36,8
$D_{2m,nT,w}$ [dB]	30	28

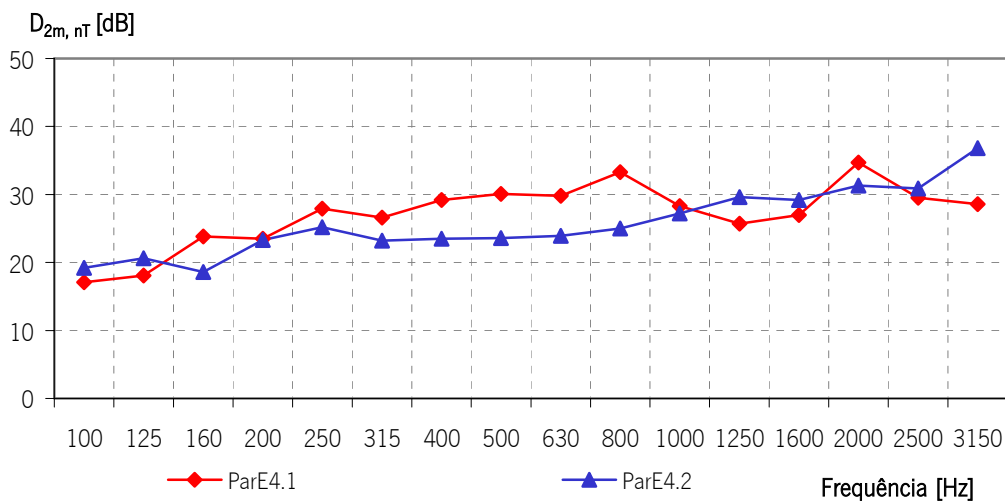


Figura 5.85 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede exterior 4, ParE4.1 e ParE4.2

Tal como a Tabela 5.30 e a Figura 5.85 mostram o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, da parede de fachada, $D_{2m,nT,W}$ é de 30 dB para a ParE4.1 e de 28 dB para a ParE4.2, o que mostra a influência da área de envidraçado (no quarto 25% da parede de fachada é envidraçada, enquanto que na sala o envidraçado ocupa cerca de 67% da parede exterior) para a qualidade acústica das paredes exteriores.

Paredes Interiores

Parede interior 1 (ParI1)

A parede interior 1, ParI1, é uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado com panos de 11 cm e 15 cm, com as faces rebocadas e estanhadas com 1,5 cm de espessura, com uma caixa-de-ar de 4 cm, totalmente preenchida com lâ rocha com 70 kg/m³ de densidade (Figura 5.86).

Os dois panos de alvenaria das paredes divisórias assentam sobre uma camada resiliente em borracha com 1,5 cm de espessura colocada sobre a laje do pavimento, tal como mostra a Figura 5.87. A laje de tecto assenta directamente na parede.

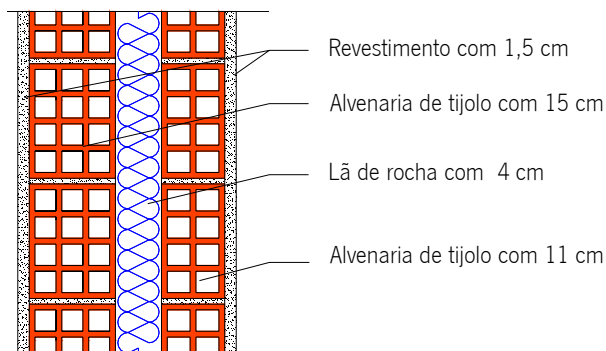


Figura 5.86 - Parede de separação entre habitações - ParI1

Para um correcto funcionamento da parede, em termos acústicos, é necessário que exista uma separação completa entre a parede e a laje, para tal o rodapé não deve estar em contacto directo com a laje, tal como mostra a Figura 5.87.

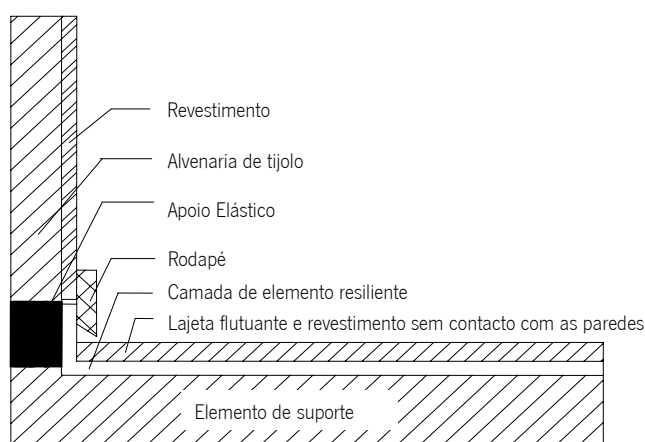


Figura 5.87 - Pormenor de ligação do rodapé à ParI1

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.31.

Tabela 5.31 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Parl1

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
10,2 m ²	28,2 m ³	37,2 m ³

Na Tabela e no gráfico da Figura 5.88 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede Parl1.

Freq.	D _{nT}
[Hz]	[dB]
100	32,5
125	39,4
160	39,8
200	38,4
250	39,6
315	42,7
400	46,3
500	48,1
630	49,4
800	51,1
1000	51,3
1250	52,4
1600	53,2
2000	56,0
2500	56,9
3150	59,7
D _{nT,w}	51 dB

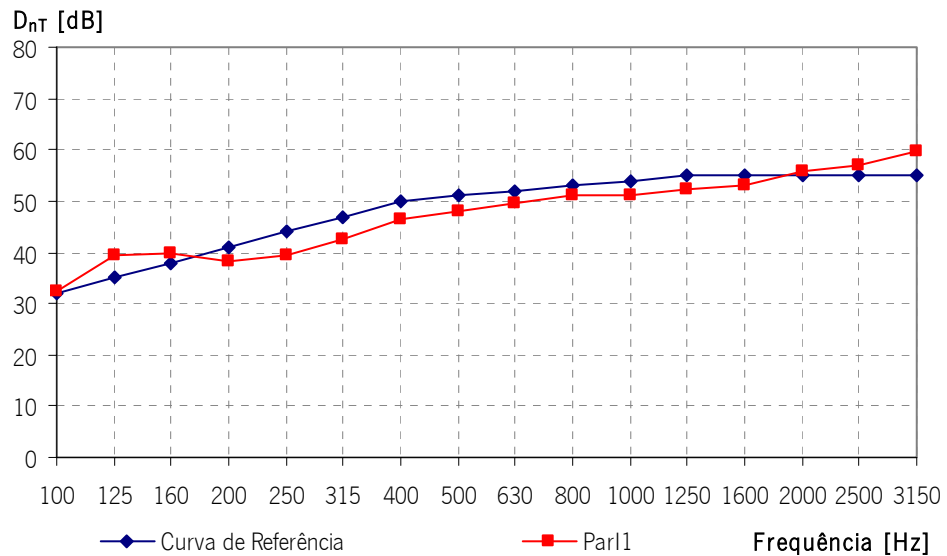


Figura 5.88 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Parl1

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea (D_{nT,w}) da parede interior Parl1 é de 51 dB, tal como mostra a Figura 5.88.

Parede interior 6 (Parl6)

A parede interior 6, Parl6, é uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado com panos de 11 cm e 15 cm, com as faces rebocadas com 1,5 cm de espessura, com uma caixa-de-ar de 6 cm, parcialmente preenchida com 4 cm de lã rocha (Figura 5.86).

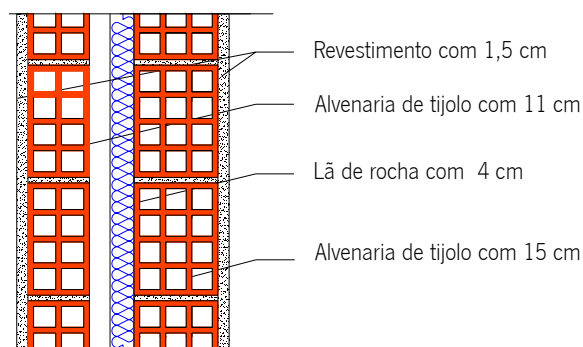


Figura 5.89 - Parede de separação entre habitações - Parl1

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.32.

Tabela 5.32 - Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Parl6

	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor	Receptor
Parl6.1	9,6 m ²	25,5 m ³	31,6 m ³
Parl6.2	11,2 m ²	32,5 m ³	26,8 m ³

Na Tabela 5.36 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede interior 6, Parl6.

Tabela 5.33 - Dados relativos às medições acústicas da Parl6.1 e da Parl6.2

Frequência [Hz]	Parl6.1	Parl6.2
	D _{nT} [dB]	D _{nT} [dB]
100	36,5	26,1
125	32,2	30,6
160	38,1	32,9
200	43,4	39,0
250	43,2	39,8
315	41,5	39,7
400	45,2	43,6
500	44,9	44,2
630	47,7	47,1
800	49,1	47,8
1000	50,4	49,5
1250	53,2	52,0
1600	54,3	53,7
2000	57,7	57,2
2500	60,8	58,9
3150	63,3	62,5
D_{nTW} [dB]	50	48

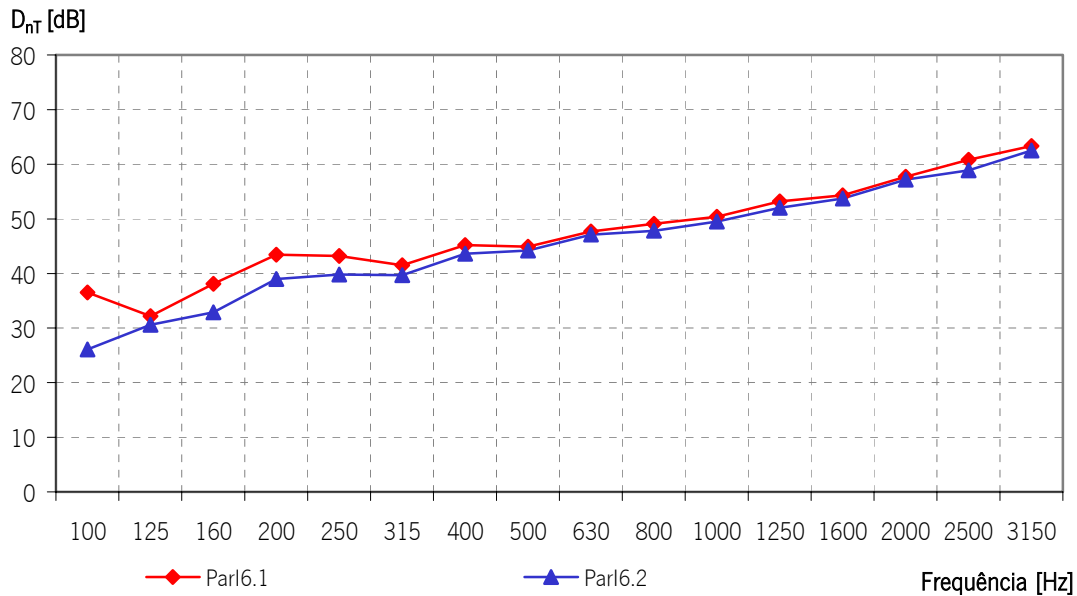


Figura 5.90 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado das paredes Parl6.1 e Parl6.2

Tal como mostram a Tabela 5.33 e o gráfico da Figura 5.90 o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede interior Parl6.1 é de 50 dB, e da parede Interior Parl6.2 é de 48 dB.

Pavimentos

Pavimento 1 (Pav1)

O pavimento 1, Pav1, é constituído por uma laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas duplas e blocos cerâmicos de 24 cm de altura, a camada de compressão tem 5 cm de espessura. Na face superior da laje existe uma camada de regularização de 5 cm em betão composto com poliestireno expandido.

O revestimento de piso varia dependendo da função do compartimento, soalho de madeira aplicado sobre uma camada resiliente, ou revestimento de piso de material cerâmico ou pétreo, aplicado sobre a camada de elemento resiliente com como se apresenta na Figura 5.91.

No soalho de madeira, sobre a camada de regularização existe uma camada de material resiliente de 2 mm, composta por borracha e aglomerado de cortiça, estando colocadas por cima desta tela guias com 2,5 cm de altura de betão normal espaçadas de 40 cm, estando sobre estas colocados “sarrafos” (barrotes em madeira) com 2 cm de altura (Figura 5.91).

Entre os barrotes existe lã de rocha com 40 kg/m³ de densidade, preenchendo o espaço vazio entre a camada de regularização e o soalho tradicional em madeira maciça.

Na face inferior da laje existe um revestimento em reboco com 1.5 cm em gesso.

A aplicação das ripas sobre a tela não pode ser realizada com a perfuração da tela de borracha. Devendo ter sido deixados 1 a 2 cm de tela para cada lado da ripa de modo a não permitir contacto entre a zona de sustentação da ripa e o pavimento.

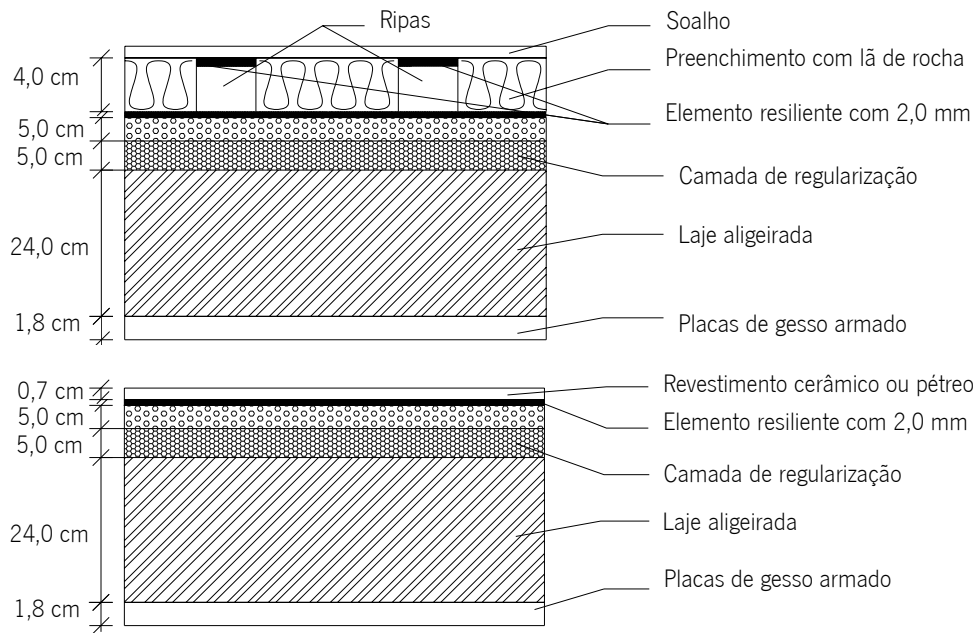


Figura 5.91 - Pavimento de separação entre duas habitações com soalho de madeira e com material cerâmico ou pético - Pav1

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.34.

Tabela 5.34 - Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav1

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
10,9 m ²	28,2 m ³	27,9 m ³

Nas Tabelas e nos gráficos da Figura 5.92 e da Figura 5.93 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão do pavimento Pav1.

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ($D_{nt,w}$) do Pav1 é de 56 dB, e o Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ($L'_{nt,w}$) é de 55 dB, tal como mostra a Figura 5.92 e a Figura 5.93.

Freq.	D_{nT}
[Hz]	[dB]
100	42,9
125	40,5
160	44,3
200	44,1
250	46,8
315	47,2
400	50,5
500	51,4
630	54,0
800	54,9
1000	56,3
1250	58,3
1600	57,7
2000	61,4
2500	64,1
3150	67,1
$D_{nT,w}$	56 dB

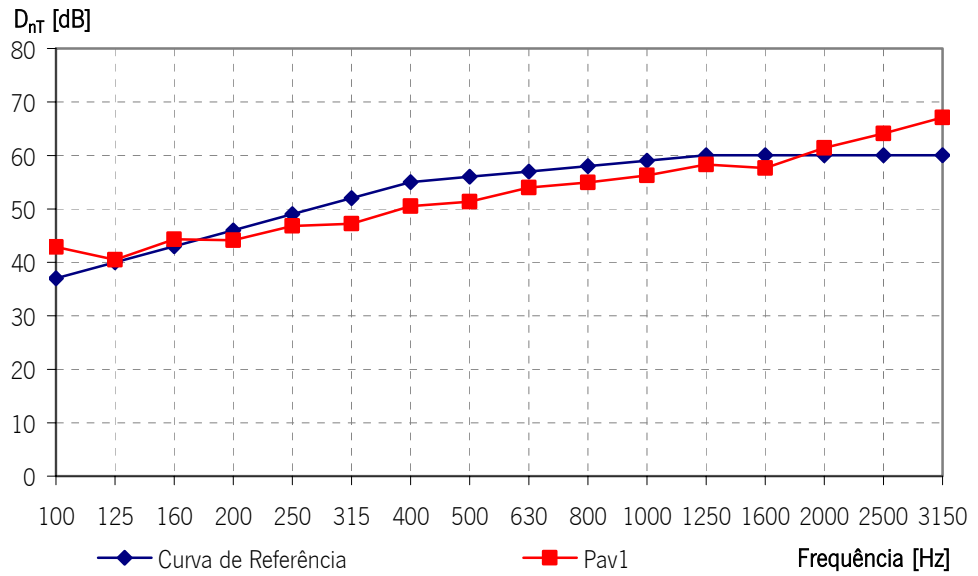


Figura 5.92 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento Pav1

Freq.	L'_{nT}
[Hz]	[dB]
100	55,1
125	58,9
160	59,1
200	60,8
250	59,9
315	59,6
400	58,4
500	55,2
630	54,1
800	54,5
1000	51,8
1250	49,9
1600	49,2
2000	46,0
2500	42,0
3150	37,4
$D_{nT,w}$	55 dB

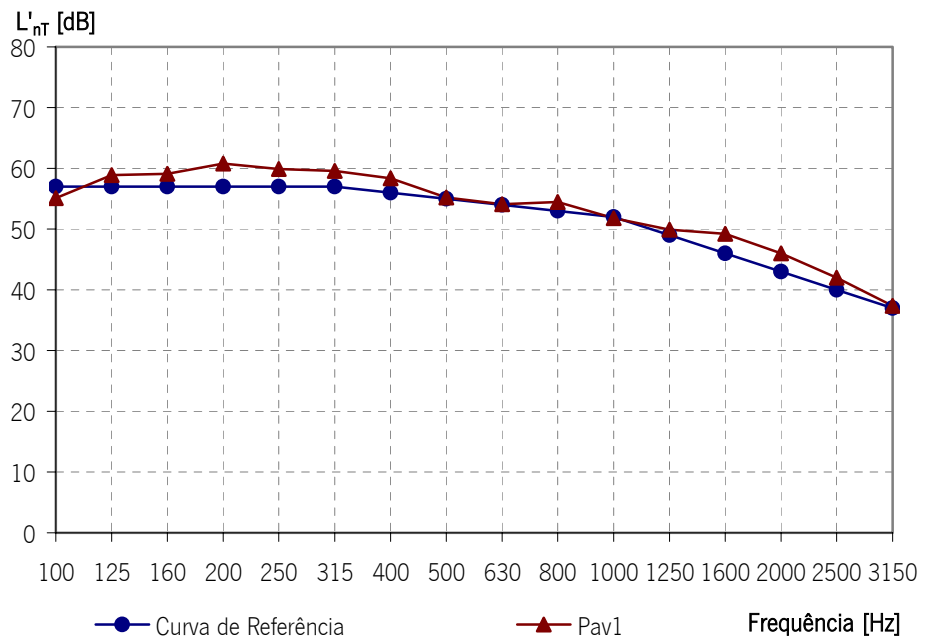


Figura 5.93 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento Pav1

Pavimento 2 (Pav2)

O pavimento 2, Pav2, é constituído por uma laje aligeirada, com vigotas pré-esforçadas duplas e abobadilhas cerâmicas, de 24 cm de altura, a camada de compressão tem 5 cm de espessura. Na face superior da laje existe uma camada de regularização de 5 cm em betão composto com poliestireno expandido.

Sobre a camada de regularização existe uma camada de material resiliente de 2 mm, composta por borracha e aglomerado de cortiça, estando colocadas por cima desta tela guias com 2.5 cm de altura de betão normal, espaçadas de 40 cm, sobre estas guias existe uma camada de elemento resiliente, sobre a qual estão colocados “sarrafos” (barrotes em madeira) com 2 cm de altura (Figura 5.94).

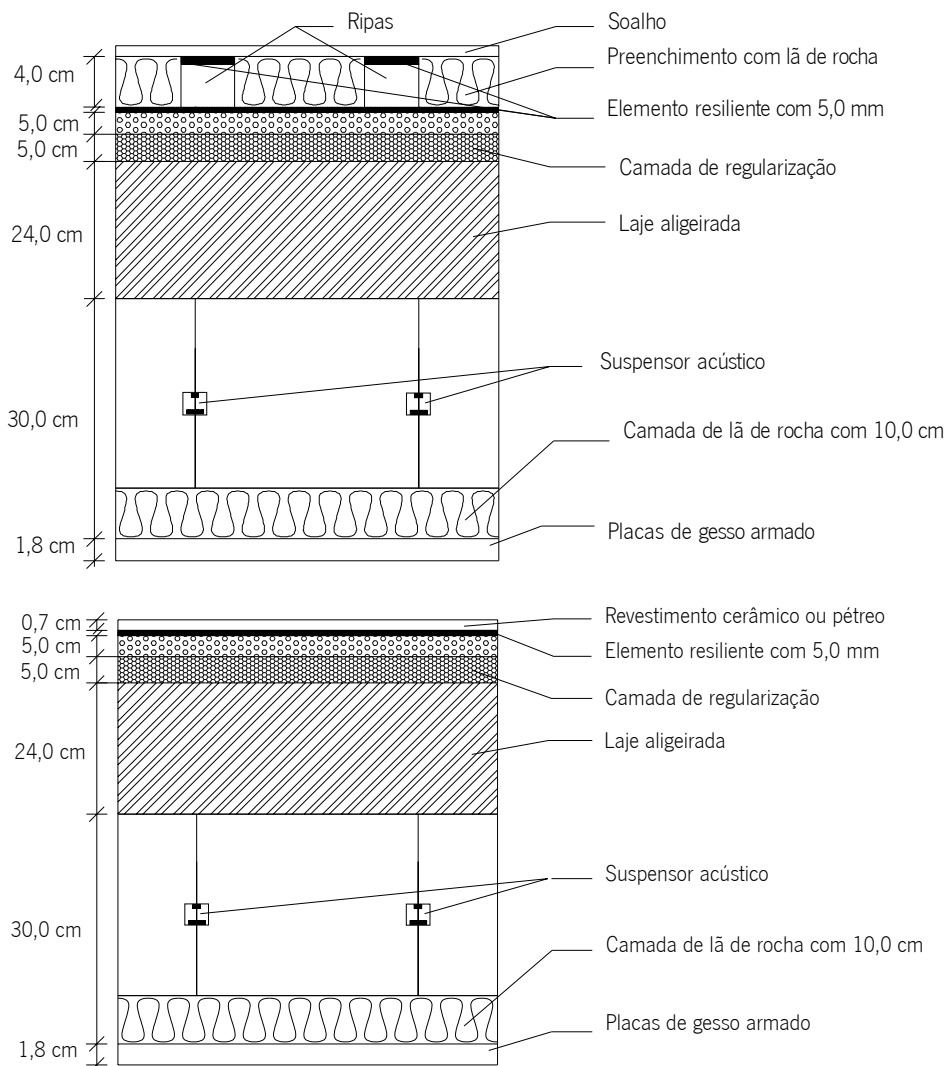


Figura 5.94 – Pavimento de separação entre uma habitação e a zona de escritórios com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo, Pav2

O espaço vazio entre os barrotes e entre a camada de regularização e o soalho tradicional, em madeira maciça com 19 cm de espessura (acabado), está preenchido com lã de rocha com 40 kg/m³ de densidade.

Na face inferior da laje existe um tecto falso com placas de gesso com 1,5 cm de espessura e um tecto falso de 30 cm com 10 cm de lã mineral com 40 kg/m³ de densidade.

Como revestimento de piso consideram-se duas alternativas, revestimento de piso em soalho de madeira e revestimento de piso de material cerâmico ou pétreo.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.35. Na Tabela 5.36 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 2, com revestimento de piso em madeira, sem isolamento acústico no tecto falso, Pav2.1, e com isolamento acústico no tecto falso, Pav2.2.

Tabela 5.35 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav2

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
11,6 m ²	30,2 m ³	552,1 m ³

Tabela 5.36 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav2.1 sem isolamento e Pav2.2, com isolamento

Frequência [Hz]	Pav2.1		Pav2.2	
	D _{nt} [dB]	L' _{nt} [dB]	D _{nt} [dB]	L' _{nt} [dB]
100	35,7	41,9	41,4	53,0
125	42,6	49,1	51,5	56,8
160	40,1	51,2	49,6	58,2
200	39,9	56,5	49,1	56,4
250	40,1	55,3	51,3	55,8
315	43,0	59,4	49,1	57,2
400	46,9	55,1	54,1	55,0
500	50,5	56,7	55,8	51,7
630	51,6	55,4	56,3	52,3
800	48,8	53,0	57,2	49,8
1000	48,5	48,7	57,4	46,3
1250	50,2	44,6	55,4	44,5
1600	52,4	41,0	58,63	40,1
2000	54,4	38,2	60,2	37,5
2500	54,1	36,9	63,4	36,3
3150	48,4	33,8	61,0	33,3
D_{nt,w} [dB]	50	-	58	-
L'_{nt,w} [dB]	-	52	-	51

Tal como mostram a Tabela 5.36 e o gráfico da Figura 5.95 o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento Pav2 é de 50 dB, se a caixa-de-ar não possuir isolamento e 58 dB se a caixa-de-ar possuir isolamento.

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão é de 52 dB, se a caixa-de-ar não possuir isolamento e 51 dB se a caixa-de-ar possuir isolamento, tal como mostram a Tabela 5.36 e o gráfico da Figura 5.96.

Ou seja, para cumprir o estabelecido na regulamentação em vigor, no que diz respeito aos sons aéreos, é necessário que os pavimentos que separam zonas comerciais de zonas habitacionais possuam tecto falso com isolamento acústico. Em relação aos sons de percussão é necessário utilizar lajetas flutuantes ou suspensores acústicos a suportarem o tecto falso.

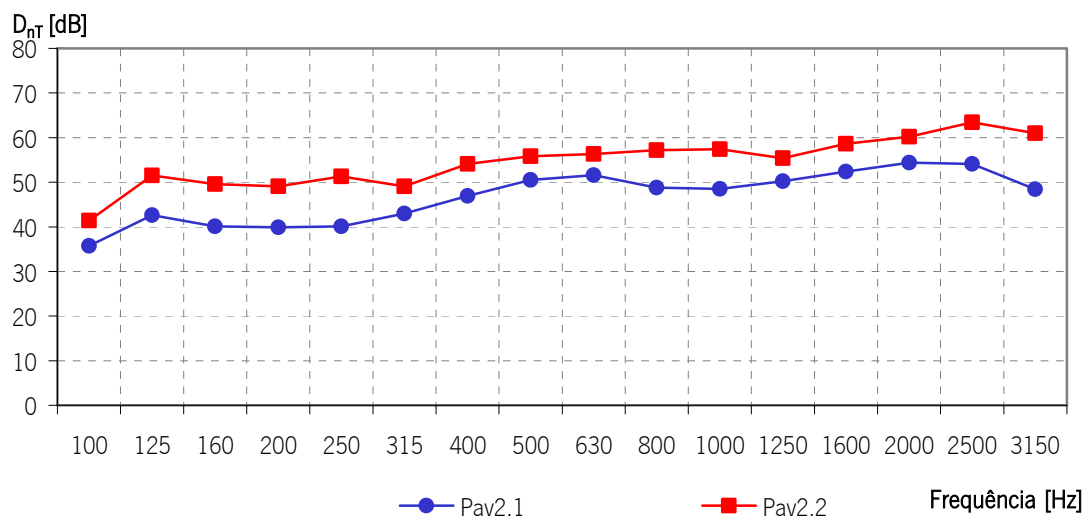


Figura 5.95 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2

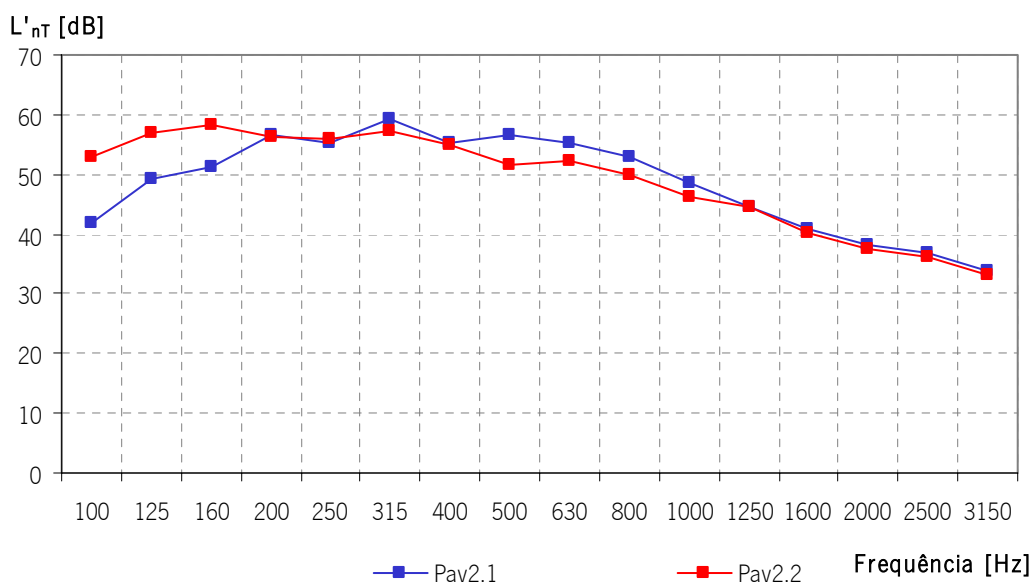


Figura 5.96 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2

Se no ensaio de avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea a zona de comércio e serviços se localizar sob a zona de habitação verifica-se que o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,W}$, é de 62 dB, se a caixa-de-ar do tecto falso possuir isolamento acústico.

Pavimento 3 (Pav3)

O pavimento 3, Pav3, é um pavimento reabilitado, constituído por uma laje aligeirada de blocos cerâmicos com 25 cm de espessura, 5 cm de camada de regularização e revestimento de piso em material cerâmico, tecto falso de 20 cm com 2 cm de lã mineral, de baixa densidade, em mantas, tal como representado na Figura 5.97.

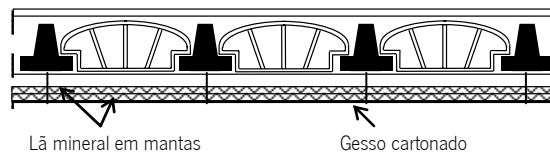


Figura 5.97 - Solução construtiva inicial

A este elemento foram introduzidos dois tectos falso, com as características descritas de seguida, depois de desmontado o tecto falso existente, uma vez que as exigências regulamentares não eram cumpridas e o pé-direito que o local apresentava ser reduzido.

Na Figura 5.98 apresenta-se um corte da laje com o pormenor da ligação entre a parede e os tectos falsos a executar.

Cada um dos tectos falsos deve possuir uma lâmina de um material acústico composto por uma lâmina à base de material betuminoso, pesado e flexível e uma camada de material poroso à base de fibras têxteis, com 0,018 m, colada ao elemento superior, seguida de uma camada de lã mineral, de 0,060 m de espessura e 90 kg/m^3 de densidade, sobre as placas de gesso cartonado, com 0,013 m de espessura, que constituem o elemento final de cada um dos tectos falsos deve existir uma segunda camada de lã mineral com as mesmas características. O primeiro tecto falso é suportado por suspensores acústicos (Figura 5.99).

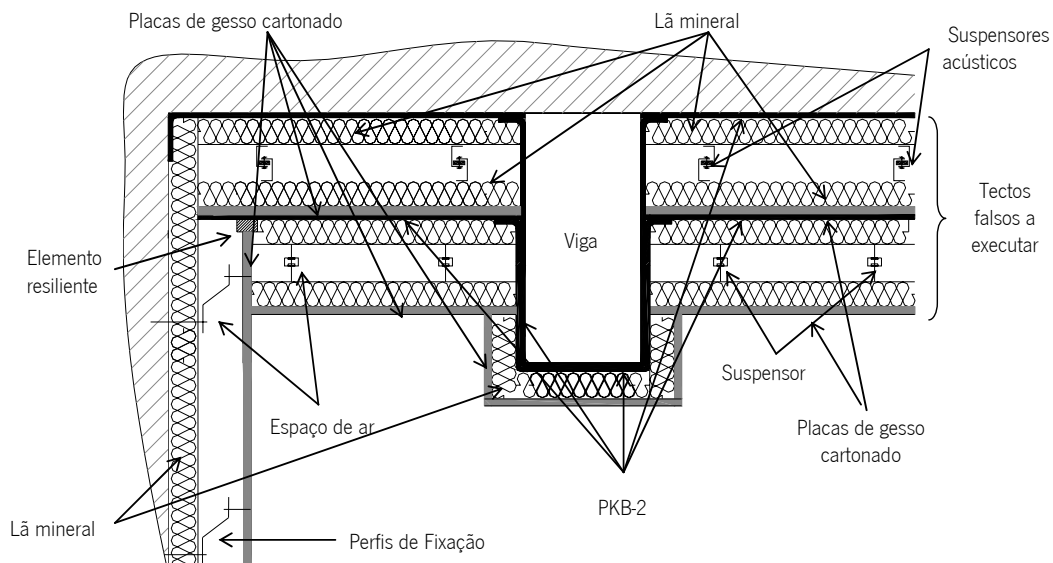


Figura 5.98 - Corte da laje com representação da solução de reforço de isolamento acústico a adoptar, na ligação entre a parede e o tecto e na zona da viga, Pav3

A envolver as vigas existem duas camadas do material acústico, uma camada de lã mineral, com 0,02 m de espessura e 90 kg/m^3 de densidade, tal como a Figura 5.98 e a Figura 5.99 mostram, seguidas das placas de gesso cartonado idênticas às do tecto falso, quer na face inferior quer nas faces laterais.



Figura 5.99 - Pormenores do processo de reabilitação acústica

As paredes foram também reforçadas, com um segundo pano de parede, constituído por lâ mineral, com 0,06 m de espessura e 120 kg/m³ de densidade mínima, colocada junto à parede existente. A ligação das placas de gesso cartonado, com 0,024 m de espessura, à parede existente, deve ser realizada através de perfis metálicos ou de madeira, sendo a lâ mineral interposta entre estes e o elemento existente, de modo a constituir um elemento resiliente, tal como mostra a Figura 5.100.

Este pano de parede deve ser prolongado acima do segundo tecto falso a executar, até ao primeiro, sendo necessário interpor um elemento resiliente, quer na ligação entre as placas de gesso cartonado e a laje de tecto e de pavimento.

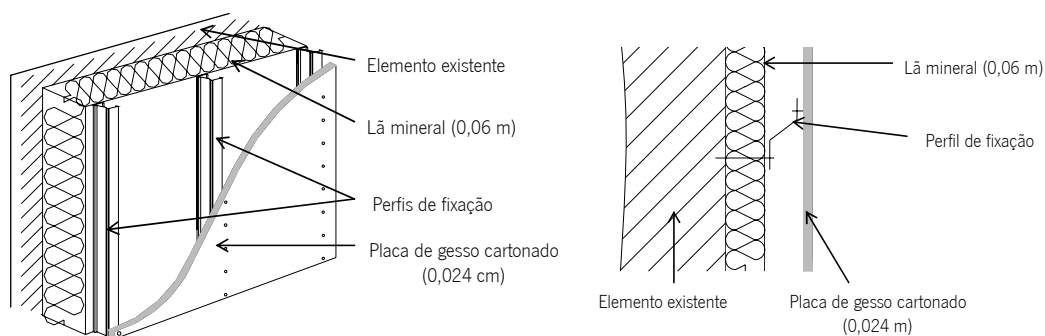


Figura 5.100 – Perspectiva da solução de reforço de isolamento acústico da parede a adoptar e pormenor de fixação das placas de gesso cartonado do pano de parede a executar à parede existente

Os dados relativos às medições realizadas são apresentados na Tabela 5.37 e na Figura 5.101.

Tabela 5.37 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav3

	Área [m ²]	Volume [m ³]
Café	102,0	280,6
Estúdio	62,6	168,9

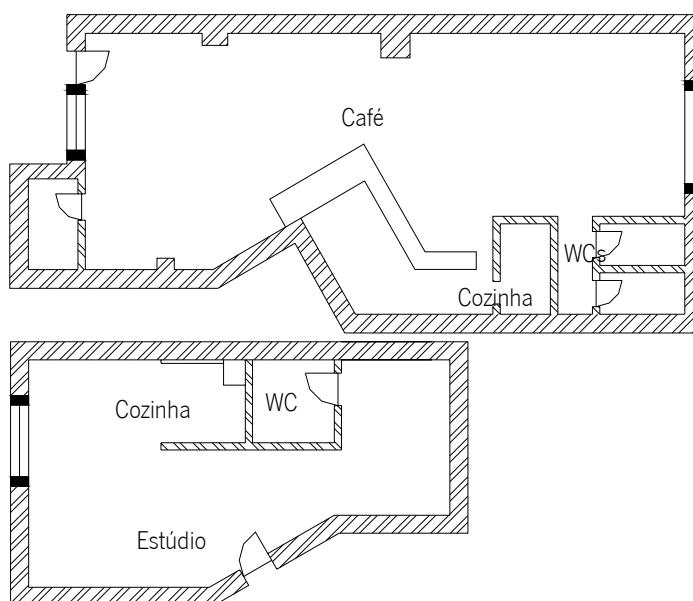


Figura 5.101 – Representação esquemática dos recintos estudados

Na Tabela 5.38, na Figura 5.102 e na Figura 5.103 apresentam-se os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão, padronizados para o pavimento rehabilitado com um (Pav3.1) e com dois (Pav3.2) tectos falsos.

Tabela 5.38 – Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 3 – Pav3.i

Freq.	Pav3.1		Pav3.2	
	D_{nr}	L'_{nr}	D_{nr}	L'_{nr}
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	36,7	57,2	48,0	39,0
125	38,3	58,5	51,0	45,1
160	43,5	59,4	48,5	40,8
200	42,6	62,1	51,6	47,5
250	46,8	61,7	52,1	48,1
315	50,2	59,2	54,8	47,5
400	52,9	57,2	56,1	50,6
500	55,5	55,0	57,2	50,6
630	58,7	55,8	58,4	51,4
800	59,6	56,8	59,7	50,2
1000	59,6	58,1	60,6	50,1
1250	61,0	57,4	63,0	50,5
1600	60,6	59,5	64,2	49,9
2000	63,3	58,5	69,1	48,0
2500	66,0	57,0	70,7	48,0
3150	63,5	55,5	68,5	42,0
$D_{nT,w}$ [dB]	58	-	61	-
$L'_{nT,w}$ [dB]	-	64	-	54

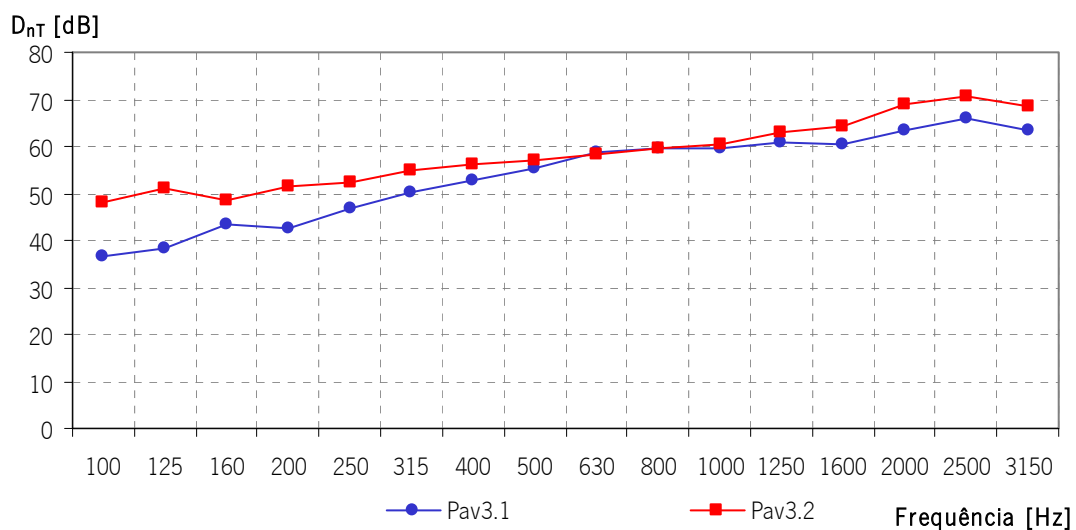


Figura 5.102 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i

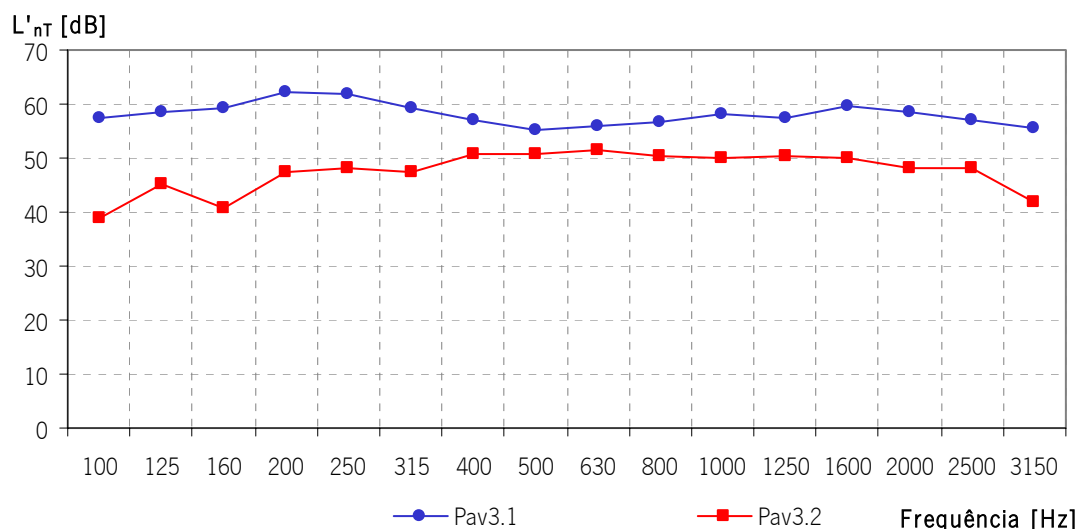


Figura 5.103 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i

Tal como a Tabela 5.38 e os gráficos da Figura 5.102 e da Figura 5.103 mostram o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento Pav3.1 é de 58 dB, se existir uma caixa-de-ar e, 61 dB se existirem duas caixas-de-ar. O índice de isolamento sonoro a sons de percussão é de 64 dB, ou 54 dB se existir uma caixa-de-ar ou se existirem duas caixas-de-ar, respectivamente.

Pavimento 4 (Pav4)

Os pavimentos de tipo 4 estudados são constituídos por uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas de cerâmicas, com 24 cm de espessura, rebocada na sua face inferior e quatro tipos de camadas de regularização (Figura 5.104):

- tipo 1 – betão celular com 5 cm de espessura, 0,5 cm de espuma de polietileno, outra camada de betão celular com 5,5 cm, 4,0 cm de betonilha, outra camada de 0,5 cm de espuma de polietileno e 0,8 cm de madeira, que constitui o revestimento de piso (Pav4.1);
- tipo 2 – betão com granulado de argila expandida, com 11 cm, 4,0 cm de betonilha, 0,5 cm de espuma de polietileno e 0,8 cm de madeira, que constitui o revestimento de piso (Pav4.2);
- tipo 3 – betão com grãos de poliestireno expandido, 0,5 cm de espuma de polietileno, 5 cm de betão com poliestireno expandido em grãos, 4,5 cm de betonilha, outra camada de 0,5 cm de espuma de polietileno e 0,8 cm de madeira, que constitui o revestimento de piso (Pav4.3);
- tipo 4 – 0,5 cm de espuma de polietileno, 8,0 cm de betonilha, outra camada de 0,5 cm de espuma de polietileno e 0,8 cm de madeira, que constitui o revestimento de piso (Pav4.4).

Estes pavimentos foram estudados num conjunto de quatro edifícios de habitação unifamiliar em banda com dois andares (Tabela 5.39). Os recintos emissores foram os quartos de casal do 1º andar e os escritórios localizados no rés-do-chão.

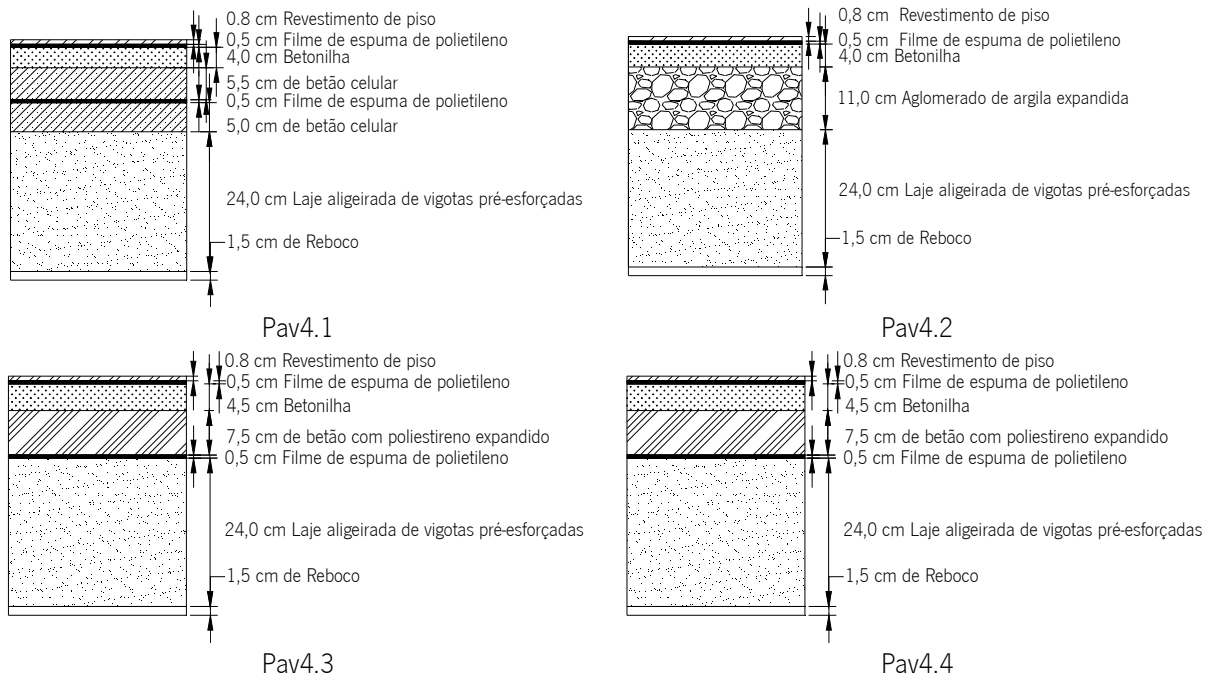


Figura 5.104 – Representação esquemática dos pavimentos tipo 4 estudados

Tabela 5.39 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav4

	Área [m ²]	Volume [m ³]
Recintos emissores – Quarto de casal	13,3	32,0
Recintos receptores – Escritório	14,5	37,7

Na Tabela 5.40 apresentam-se os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão, padronizados.

Como se pode verificar através da análise da Tabela 5.40, da Figura 5.105 e da Figura 5.106 o pavimento Pav4.4, solução convencional apresenta o melhor isolamento a sons de condução aérea, pois tem maior massa, mas tem o pior desempenho em relação aos sons de percussão, uma vez que as duas camadas de espuma de polietileno não são suficientes para reduzir a transmissão por via sólida.

Tabela 5.40 – Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 4 – Pav4.i

Freq.	Pav4.1		Pav4.2		Pav4.3		Pav4.4	
	D_{nr}	L'_{nr}	D_{nr}	L'_{nr}	D_{nr}	L'_{nr}	D_{nr}	L'_{nr}
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	40,0	47,8	38,9	47,6	34,1	61,4	37,9	54,9
125	41,6	56,2	35,2	53,8	36,3	59,8	39,3	62,3
160	38,3	51,6	39,8	55,1	40,2	54,9	42,0	58,2
200	35,7	53,7	35,1	57,5	39,2	58,5	40,5	63,0
250	37,9	54,2	39,4	55,1	39,6	57,0	41,6	62,7
315	40,0	55,7	39,6	53,5	42,4	56,3	44,9	61,6
400	42,5	52,2	39,8	52,2	43,1	53,5	46,9	59,2
500	42,8	57,1	40,8	47,7	44,5	46,8	47,3	53,0
630	45,2	55,7	41,9	49,1	46,9	43,6	49,3	49,6
800	48,1	55,3	42,7	46,1	50,1	44,6	53,0	48,0
1000	51,6	51,7	42,8	38,8	50,7	40,1	56,4	39,2
1250	53,9	47,7	43,1	36,8	52,4	38,5	58,9	35,4
1600	53,9	44,2	43,2	34,2	52,5	36,8	58,5	34,5
2000	53,7	43,7	43,4	35,2	51,9	36,9	59,7	35,3
2500	52,5	45,5	43,8	36,1	50,2	37,7	61,3	36,6
3150	49,2	51,2	43,4	39,1	48,8	41,1	62,8	35,1
$D_{nT,w}$ [dB]	48	-	43	-	49	-	53	-
$L'_{nT,w}$ [dB]	-	55	-	50	-	51	-	54

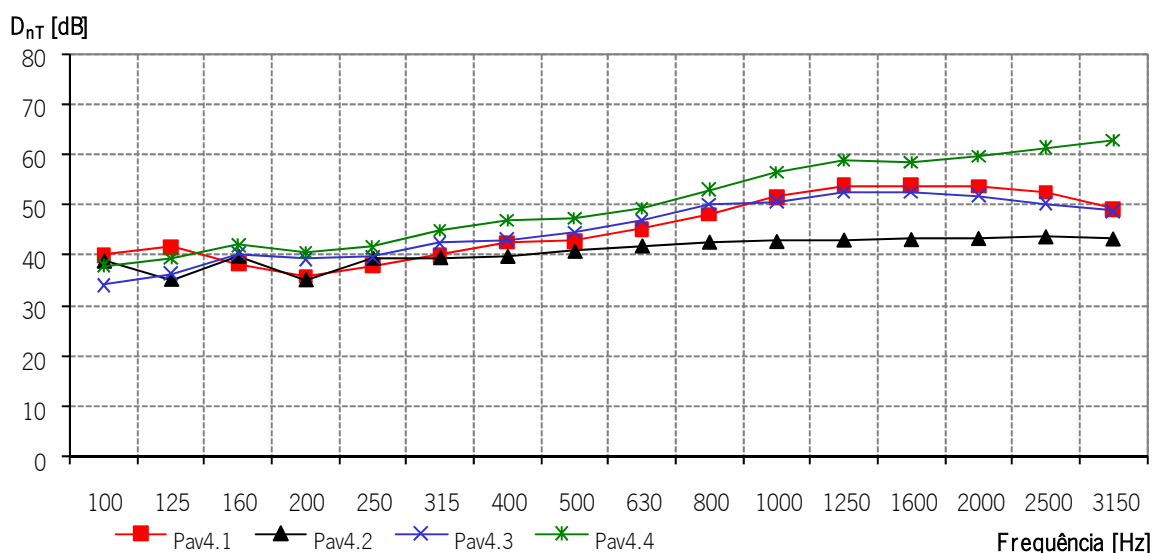


Figura 5.105 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 4 - Pav4.i

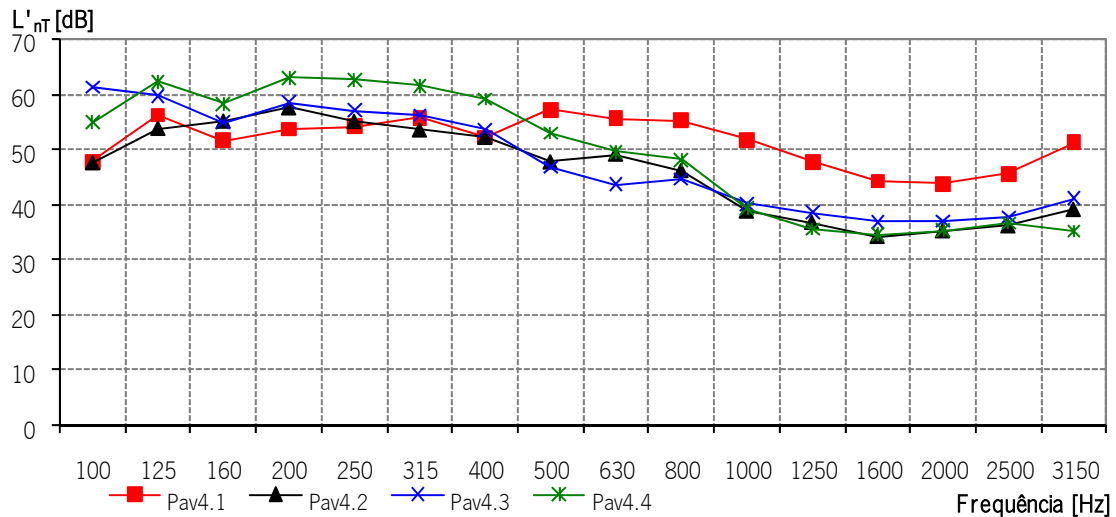


Figura 5.106 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 4 - Pav4.i

As soluções Pav4.2 e Pav4.3 têm um melhor comportamento a sons de percussão, devido a terem menor massa, sendo o Pav4.1 o que apresenta pior comportamento e o Pav4.2 o que apresenta melhor comportamento, devido à sua menor rigidez e massa. De referir que o Pavimento Pav4.2 só possui uma camada de elemento resiliente, enquanto os restantes têm duas camadas, não sendo o seu melhor desempenho devido ao elemento resiliente, mas sim devido à camada com agregados de argila expandida.

Pavimento 11 (Pav11)

O pavimento 11, Pav11, é constituído por uma laje aligeirada com blocos de cofragem leve (poliestireno expandido) com 35 cm de altura e 5 cm de camada de compressão, o revestimento de piso, de 7 mm, em madeira e o revestimento inferior é constituído por 2 cm de reboco, Pav11.1 e de material cerâmico, sendo o acabamento inferior constituído por um tecto falso com 10 cm, Pav11.2.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.41.

Tabela 5.41 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav11

Elemento Construtivo	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor	Receptor
Pav11.1	34,3 m ²	89,1 m ³	89,1 m ³
Pav11.2	5,1	12,3	12,3

Na Tabela 5.42, na Figura 5.107 e na Figura 5.108 apresentam-se os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão, padronizados para o pavimento 11, com revestimento em madeira (Pav11.1) e com revestimento cerâmico (Pav11.2).

Tabela 5.42 – Comportamento acústico dos pavimentos do tipo 11 – Pav11.i

Freq.	Pav11.1		Pav11.2	
	D_{nr}	L'_{nr}	D_{nr}	L'_{nr}
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	32,7	53,4	42,9	47,9
125	35,3	54,8	47,4	45,8
160	36,5	62,6	48,3	47,4
200	39,1	61,6	48,8	51,5
250	34,8	70,6	45,7	51,5
315	28,1	78,0	49,7	50,3
400	32,6	75,2	53,9	53,5
500	37,4	69,3	53,0	52,9
630	40,1	67,4	55,6	57,0
800	42,9	60,9	56,7	57,3
1000	45,2	57,7	58,3	57,0
1250	49,2	51,3	59,4	57,5
1600	53,6	47,8	58,8	59,5
2000	55,4	46,0	60,0	60,2
2500	57,0	44,4	60,8	58,6
3150	58,1	41,0	63,4	57,6
$D_{nT,w}$ [dB]	41	-	57	-
$L'_{nr,w}$ [dB]	-	65	-	65

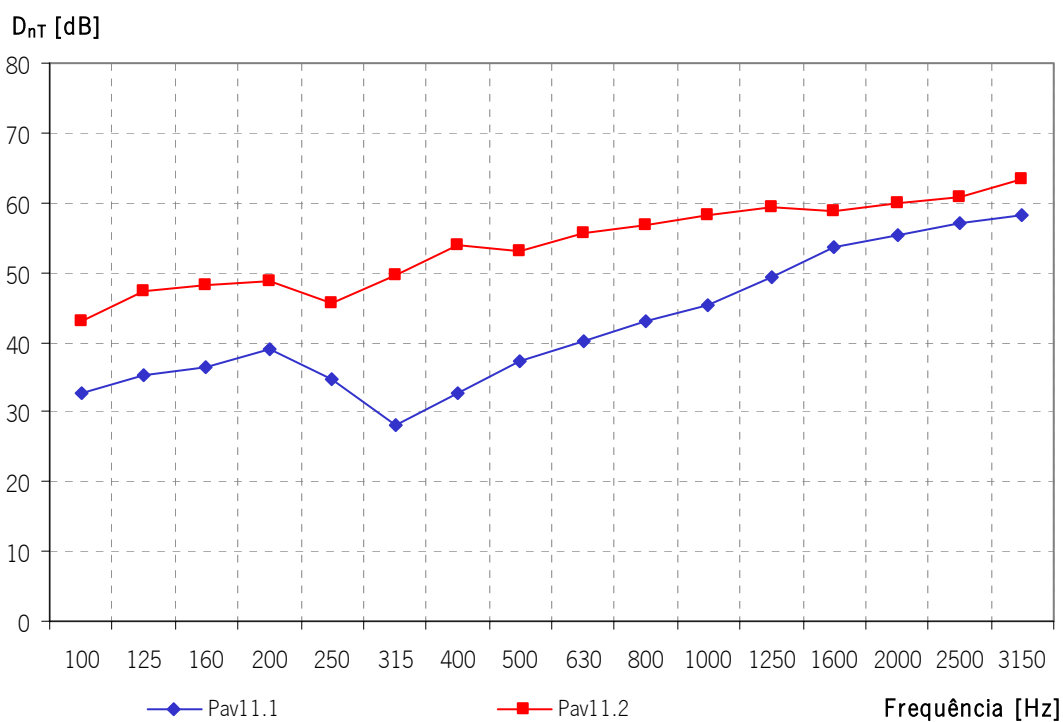


Figura 5.107 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 11 – Pav11.i

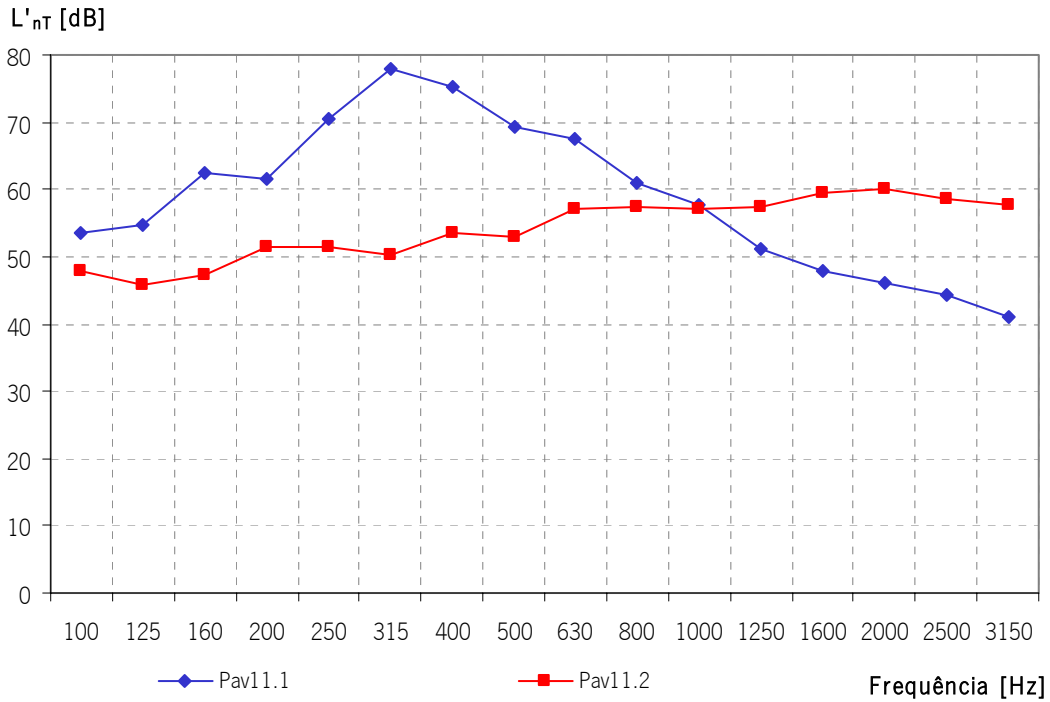


Figura 5.108 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i

Tal como a Tabela 5.42 e os gráficos da Figura 5.107 e da Figura 5.108 mostram o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento Pav11.1 é de 41 dB, se o revestimento de piso for de madeira e, 65 dB se o revestimento de piso for cerâmico. O índice de isolamento sonoro a sons de percussão é de 57 dB, ou 65 dB se o revestimento de piso for de madeira ou se o revestimento de piso for cerâmico, respectivamente.

Pavimento 12 (Pav12)

O pavimento 12, Pav12, é um pavimento leve, constituído por um elemento de revestimento de piso e suporte de cargas mecânicas, elementos de suporte metálicos, criando uma caixa-de-ar preenchida com 10 cm de lã de rocha e acabamento inferior constituído por placas de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.43.

Tabela 5.43 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav12

Elemento Construtivo	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor Quarto 2	Receptor - Espaço polivalente
Pav12	13,2m ²	33,7 m ³	187,7 m ³

Na tabela e no gráfico da Figura 5.109 e da Figura 5.110 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 12, Pav12.

Freq.	D_{nT}
[Hz]	[dB]
100	39,1
125	42,3
160	43,0
200	39,6
250	43,1
315	46,3
400	51,8
500	51,1
630	49,5
800	50,0
1000	49,4
1250	50,4
1600	51,3
2000	52,2
2500	52,5
3150	54,0
$D_{nT,w}$	51 dB

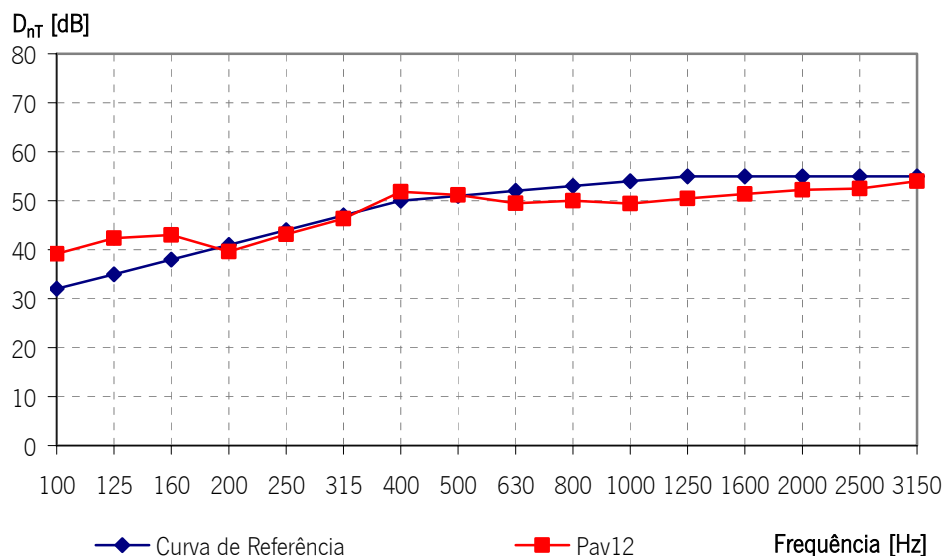


Figura 5.109 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 12, Pav12

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ($D_{nT,w}$) do pavimento 12, Pav12, é de 51 dB, tal como mostra a Figura 5.109.

Freq.	L'_{nT}
[Hz]	[dB]
100	51,6
125	56,8
160	59,5
200	62,4
250	63,1
315	59,4
400	55,7
500	58,7
630	60,8
800	61,5
1000	61,5
1250	59,6
1600	58,9
2000	55,8
2500	53,5
3150	52,0
$L'_{nT,w}$	63 dB

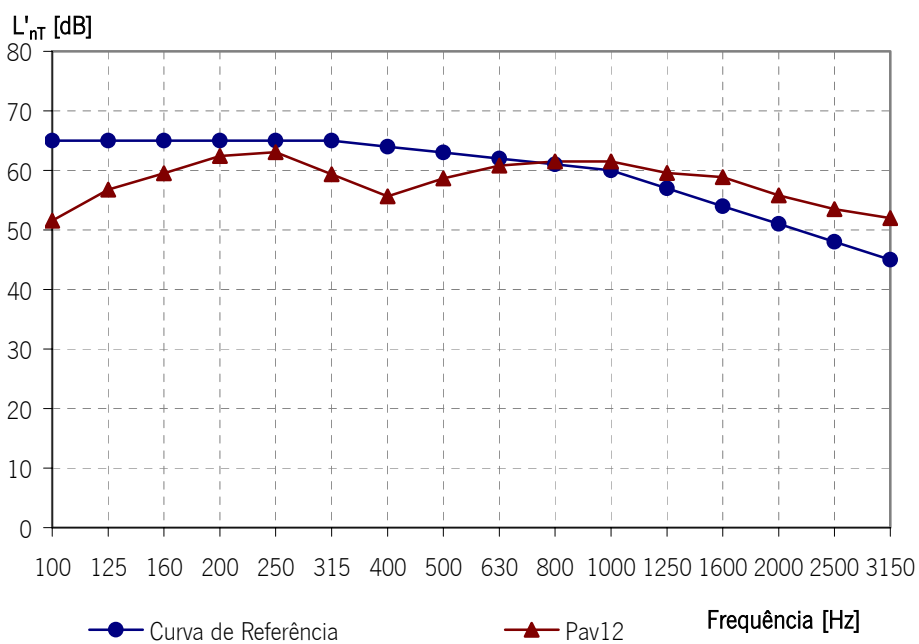


Figura 5.110 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 12, Pav12

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ($L'_{nT,w}$) do pavimento 12, Pav12, é de 63 dB, tal como mostra a Figura 5.110.

Pavimento 13 (Pav13)

Pavimento 13, Pav13, é constituído por uma laje aligeirada de blocos cerâmicos de 20 cm de altura e 4 cm de camada de compressão, sobre esta camada, existe uma camada de material resiliente, lâmina flexível de polietileno reticulado não-espumado, com 10 mm de espessura. Sobre a camada de elemento resiliente existe uma lajeta de betão armado com 4 cm de espessura mínima, armada com uma rede electrosoldada, sobre a qual é aplicado o revestimento de superfície. A altura final da lajeta de betão será função da espessura do revestimento, de modo a no final a espessura da laje no limpo seja constante.

O revestimento inferior da laje é constituído por uma camada de gesso projectado com 1,8 cm de espessura.

O revestimento de piso varia dependendo da função do compartimento. O 1º tipo de revestimento de piso é um revestimento em soalho tradicional de madeira, pav13.1, representado na Figura 5.111, o 2º tipo de revestimento de piso é um material cerâmico ou pético, Pav13.2, como se apresenta na Figura 5.111.

Sobre a camada de regularização existe uma camada de material resiliente de 2 mm, composta por borracha e aglomerado de cortiça, estando colocadas por cima desta tela guias com 2,5 cm de altura de betão normal espaçadas de 40 cm, estando sobre estas colocados “sarrafos” (barrotes em madeira) com 2 cm de altura (Figura 5.111).

Entre os barrotes do soalho tradicional existe lã de rocha com 40 kg/m³ de densidade, preenchendo o espaço vazio entre a lajeta flutuante e o soalho tradicional em madeira maciça.

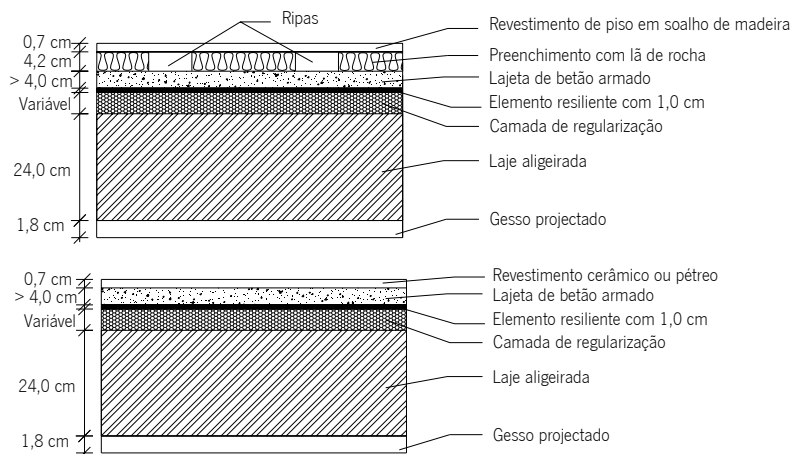


Figura 5.111 – Pavimento de separação entre duas habitações com soalho de madeira e com material cerâmico ou pético – Pav13.1 e Pav13.2

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.44.

Tabela 5.44 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav.13

Pavimento	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor	Receptor
Pav13.1	10,9 m²	27,3 m³	27,3 m³
Pav13.2	12,8	32,0	70,35

Na Tabela 5.45, na Figura 5.112 e na Figura 5.113 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão do pavimento Pav13.

Tabela 5.45 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav13.1 e Pav13.2

Frequência [Hz]	Pav13.1		Pav13.2	
	D_{nT} [dB]	L'_{nT} [dB]	D_{nT} [dB]	L'_{nT} [dB]
100	37,9	51,6	39,1	39,5
125	37,5	57,5	44,1	50,1
160	33,4	56,9	55,0	48,9
200	36,1	51,2	48,6	50,3
250	46,7	46,1	47,4	54,6
315	40,4	50,8	52,7	52,5
400	40,9	47,1	60,0	50,9
500	44,4	39,4	61,4	47,8
630	44,3	41,6	62,2	48,2
800	49,8	38,0	65,6	48,2
1000	50,4	31,6	67,1	48,6
1250	53,3	27,9	67,6	48,8
1600	54,6	25,6	69,2	46,6
2000	56,5	21,2	74,2	43,3
2500	57,5	19,3	76,1	40,0
3150	59,7	20,4	74,7	35,4
$D_{nT,w}$ [dB]	49	-	62	-
$L'_{nT,w}$ [dB]	-	48	-	50

Tal como mostram a Tabela 5.45 e o gráfico da Figura 5.112 o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento Pav13.1 é de 49 dB e do pavimento Pav13.2 é de 62 dB.

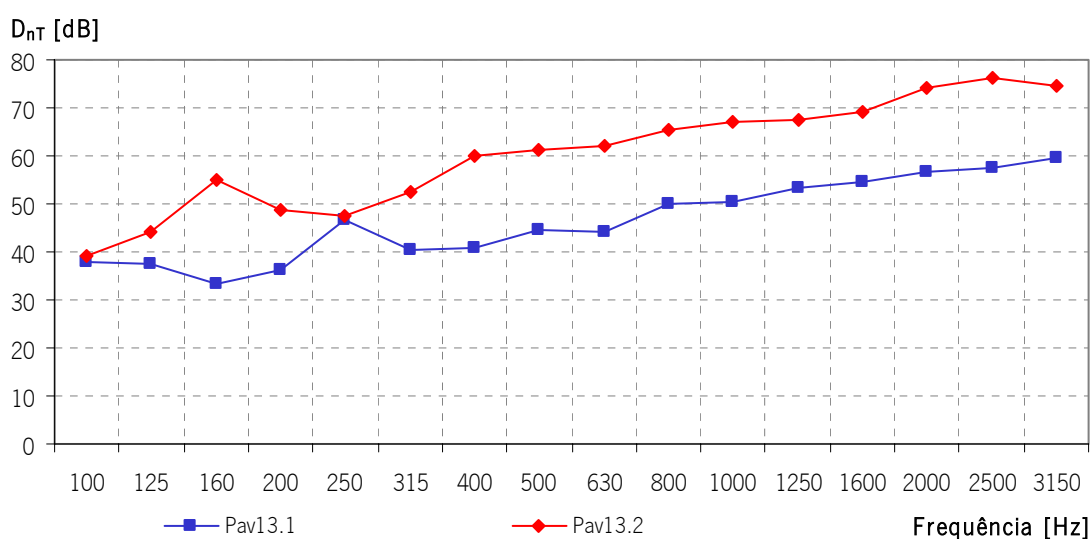


Figura 5.112 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav13.1 e Pav13.2

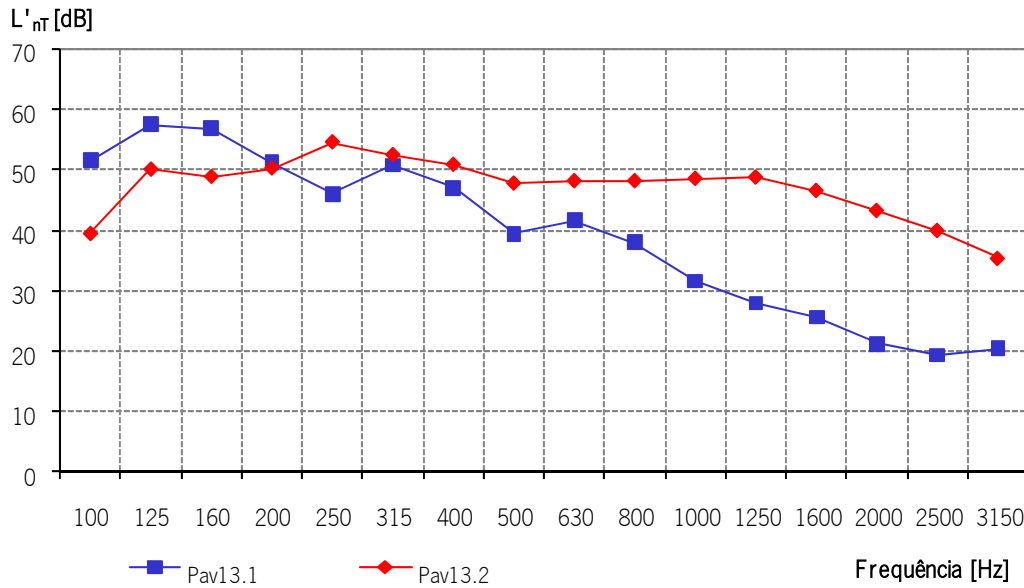


Figura 5.113 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão é de 48 dB, para o Pav13.1 e 50 dB para o Pav13.2, tal como mostram a Tabela 5.45 e o gráfico da Figura 5.113.

Pavimento 14 (Pav14)

O pavimento 14, Pav14, é constituído por uma laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 25 cm de altura, sobre a qual existe uma camada de regularização com 12 cm de betão leve, uma camada de resiliente, com 1,5 cm de espuma de polietileno reticulado, uma lajeta de betão armado com 4 cm de espessura e uma camada de aglomerado negro de cortiça com 1,0 cm espessura. O acabamento superior da laje é de madeira com 1,5 cm e o acabamento inferior em estuque com 1,5 cm (Figura 5.114).

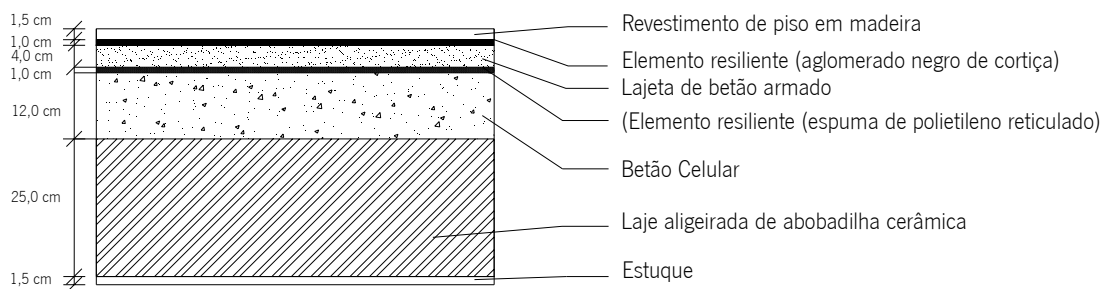


Figura 5.114 – Pavimento de separação entre uma habitação e a zona de escritórios com soalho de madeira e com material cerâmico ou pético

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.46.

Tabela 5.46 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav14

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
10,5 m ²	26,8 m ³	26,8 m ³

Na tabela e no gráfico da Figura 5.115 e da Figura 5.116 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 14, Pav14.

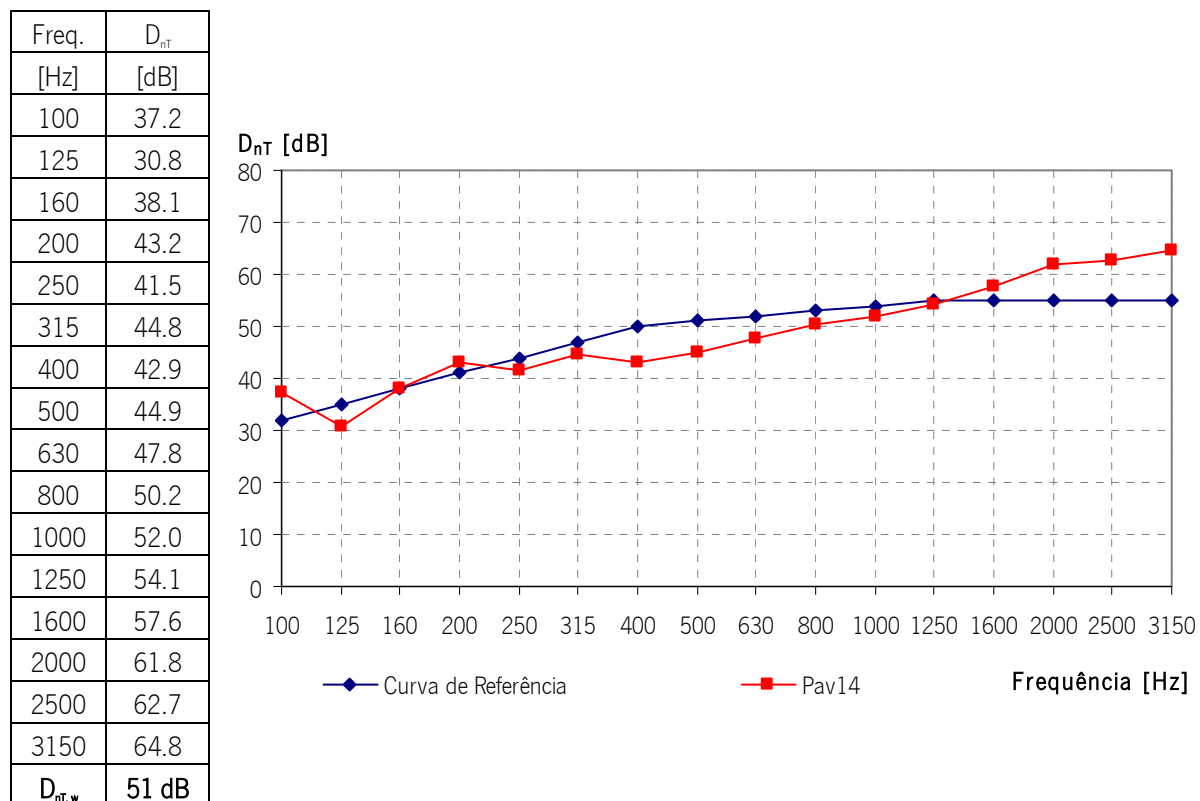


Figura 5.115 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 12, Pav12

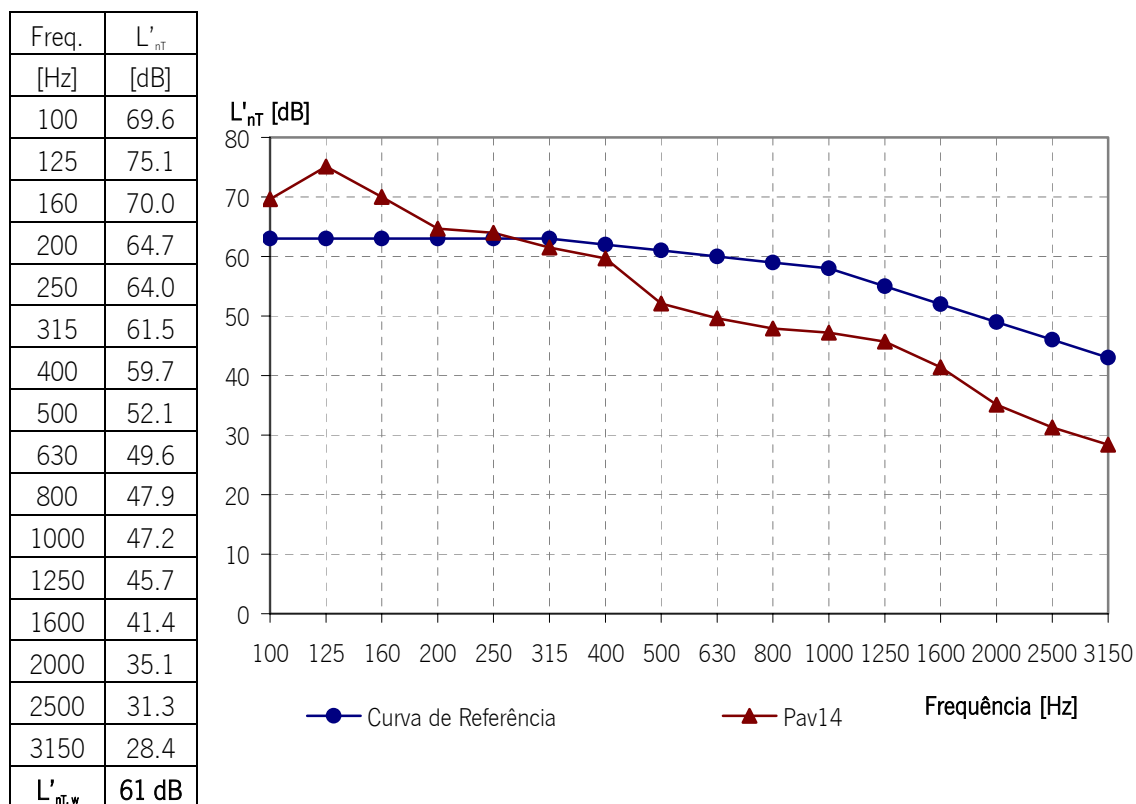


Figura 5.116 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 14, Pav14

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ($D_{nt,w}$) do pavimento 14, Pav14, é de 51 dB, tal como mostra a Figura 5.115 e o Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ($L'_{nt,w}$) do pavimento 14, Pav14, é de 61 dB, tal como mostra a Figura 5.116.

Pavimento 15 (Pav15)

Para avaliar a eficácia da camada de regularização e do elemento resiliente de um pavimento foram realizados dois ensaios, no primeiro o pavimento é constituído apenas pelo elemento de suporte, Pav15.1, uma laje de betão maciça, com 25 cm de espessura.

No segundo ensaio acústico o pavimento, Pav15.2, sobre a laje de betão maciça, com 25 cm, foi colocada uma camada de 7 cm de betão com granulado de poliestireno expandido, uma membrana de polietileno expandido com 5 mm e uma membrana de polietileno de alta densidade com 1,8 mm, 5 cm de betonilha com fibras e revestimento pétreo (granito com 3 cm), tal como representado na Figura 5.117.

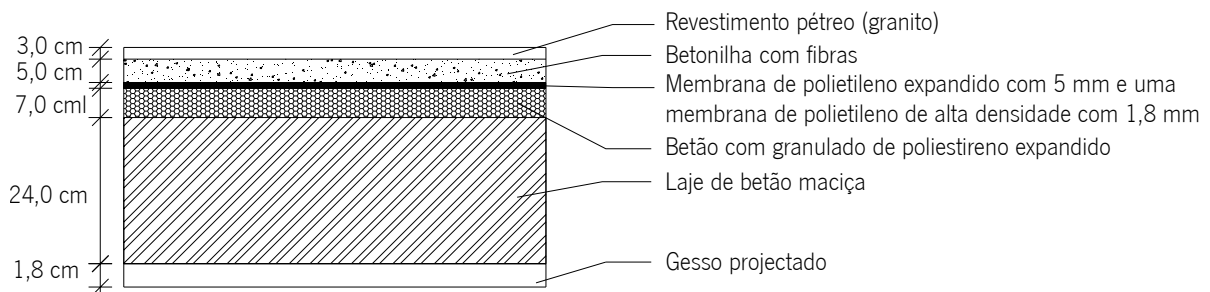


Figura 5.117 - Representação esquemática do pavimento Pav15

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela 5.47.

Tabela 5.47 - Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav15

	Área [m ²]	Volume [m ³]
Recintos emissores - Quarto de casal	10,3	26,7
Recintos receptores - Sala	39,3	102,1

Na tabela e no gráfico da Figura 5.118 apresentam-se os índices de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizados do pavimento Pav15.1 e pav15.2.

Freq.	Pav15.1	Pav15.2
	L'_{nr}	L'_{nr}
[Hz]	[dB]	[dB]
100	47,3	52,6
125	50,6	57,1
160	50,5	52,4
200	49,8	43,2
250	50,9	43,6
315	52,9	44,9
400	53,7	46,3
500	55,4	46,9
630	56,2	46,7
800	57,3	45,6
1000	58,1	43,7
1250	59,2	43,7
1600	59,7	42,0
2000	60,1	40,6
2500	59,7	40,0
3150	59,6	32,8
$L'_{nr,w}$ [dB]	66	48

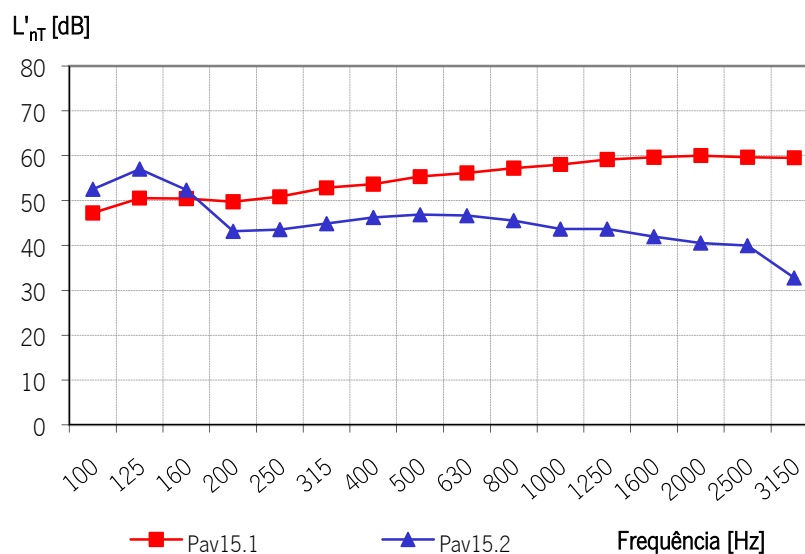


Figura 5.118 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 15 – Pav15.i

Como se pode verificar através da análise da Figura 5.118 a introdução da camada de betão leve e das duas camadas de elemento resiliente (polietileno expandido e uma membrana de polietileno de alta densidade), a betonilha e revestimento pétreo conduzem a uma redução do índice de isolamento sonoro a sons de percussão de 18 dB.

Na Tabela 5.48 e na Tabela 5.50 apresentam-se os resultados obtidos nos diferentes ensaios de avaliação do isolamento de paredes e pavimentos.

Tabela 5.48 – Isolamento acústico conferido pelas paredes, exteriores e interiores, estudadas

Elemento	$D_{2m,nt,w}$ Medido [dB]	$D_{2m,nt,w}$ Regulamentar [dB]
Parede Exterior - ParE1	28	≥ 28 - Zonas Sensíveis ≥ 33 - Zonas Mistas
Parede Exterior - ParE2	34	
Parede Exterior - ParE3	30	
Parede Exterior - ParE4.1	30	
Parede Exterior - ParE4.2	28	

Tabela 5.49 – Isolamento acústico conferido pelas paredes, exteriores e interiores, estudadas

Elemento de Separação	$D_{nt,w}$ Medido [dB]	$D_{nt,w}$ Regulamentar [dB]
Parede Interior - Parl1	51	≥ 50 – entre fogos ≥ 48 – entre fogos e locais de circulação comum ≥ 40 – entre fogos e caminhos de circulação vertical se existirem ascensores ≥ 50 – entre fogos e garagens ≥ 58 – entre fogos e zonas de comércio ou serviços
Parede Interior - Parl2	54	
Parede Interior - Parl3	55	
Parede Interior - Parl4.1	45	
Parede Interior - Parl4.2	52	
Parede Interior - Parl5	39	
Parede Interior - Parl6.1	50	
Parede Interior - Parl6.2	48	

Tabela 5.50 – Isolamento acústico conferido pelos pavimentos estudados

Elemento de Separação	$D_{nt,w}$ Medido [dB]	$L'_{nt,w}$ Medido [dB]	$D_{nt,w}$ Regulamentar [dB]	$L'_{nt,w}$ Regulamentar [dB]
Pavimento Pav1	56	55	≥ 50 – entre fogos ≥ 48 – entre fogos e locais de circulação comum ≥ 40 – entre fogos e caminhos de circulação vertical se existirem ascensores ≥ 50 – entre fogos e garagens ≥ 58 – entre fogos e zonas de comércio ou serviços	≤ 60 – entre fogos ou entre fogos e zonas de circulação comuns ≤ 50 – entre fogos e zonas de comércio ou serviços
Pavimento Pav2.1	50	52		
Pavimento Pav2.2	58	51		
Pavimento Pav3.1	58	64		
Pavimento Pav3.2	61	54		
Pavimento Pav4.1	48	55		
Pavimento Pav4.2	43	50		
Pavimento Pav4.3	49	51		
Pavimento Pav4.4	53	54		
Pavimento Pav5	49	55		
Pavimento Pav6	51	50		
Pavimento Pav7	52	54		
Pavimento Pav8	48	65		
Pavimento Pav9	51	67		
Pavimento Pav10	56	76		
Pavimento Pav11.1	41	65		
Pavimento Pav11.2	57	65		
Pavimento Pav12	51	63		
Pavimento Pav13.1	49	48		
Pavimento Pav13.2	62	50		
Pavimento Pav14	51	61		
Pavimento Pav15.1	-	66		
Pavimento Pav15.2	-	48		

5.5 Avaliação Subjectiva da Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios

Em conjunto com a avaliação dos parâmetros físicos que influenciam a Qualidade do Ambiente Interior (conforto térmico, acústico, visual e qualidade do ar), descritos nos pontos anteriores, foi também realizada a avaliação da percepção dos ocupantes em relação ao ambiente em que estão inseridos, tendo em consideração a forma como estes reagem aos estímulos físicos e à aclimatização devida às condições culturais e sociológicas.

Esta avaliação foi realizada através da administração de um questionário, apresentado de seguida, de acordo com o exemplo do Appendix E - Thermal Environment Survey da norma ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ASHRAE 55, 2003).

O questionário possui questões relativas às roupas que o inquirido tem vestidas e ao tipo de actividades a desenvolver, à existência de algum sintoma de doença (dores de cabeça, tosse, etc.), à sensação de conforto (térmico, acústico, visual e QAI) e também à importância relativa de cada um destes factores para a sua sensação de conforto.

5.5.1 Qualidade do Ambiente Interior

Assim, em paralelo com a avaliação dos resultados objectivos, foram analisados os inquéritos efectuados. A análise consistiu na verificação do estado de satisfação dos ocupantes com as condições ambientais existentes e no cálculo do peso que os ocupantes de cada habitação atribuíam a cada parâmetro. Por último, calculou-se o peso atribuído a cada parâmetro na globalidade dos inquéritos.

Edifício 2 - Habitação 2.1

No que diz respeito à avaliação do estado de conforto térmico por parte dos dois ocupantes da Habitação 2.1, estes consideraram-se confortáveis, não sentindo necessidade de ser realizada qualquer alteração do ambiente térmico. Esta avaliação estava de acordo com os resultados obtidos na análise objectiva.

Em relação ao ambiente acústico, os ocupantes consideravam-se ligeiramente desconfortáveis, queixando-se de ruídos incomodativos provenientes do exterior, o que está também de acordo com os resultados obtidos na avaliação objectiva.

Quanto ao ambiente luminoso, avaliaram os espaços como ligeiramente pouco iluminados. O mesmo se verificou em relação à qualidade do ar. Estes resultados são qualitativamente semelhantes aos obtidos nas medições in situ.

Relativamente ao peso dado a cada parâmetro contribuinte para a qualidade do ambiente interior, os resultados obtidos foram os indicados na Figura 5.119.

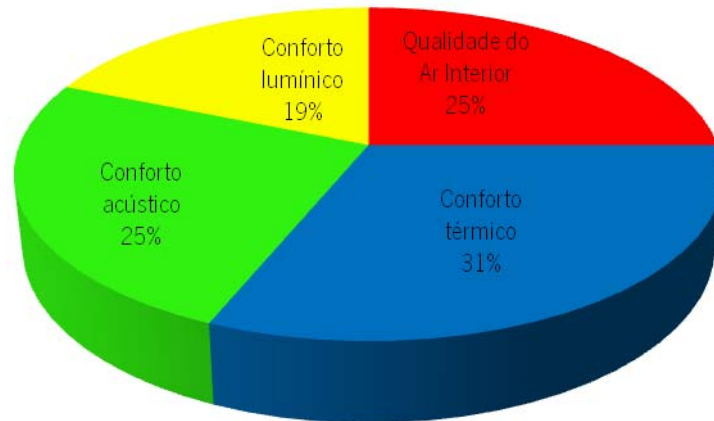


Figura 5.119 – Peso dado a cada parâmetro da qualidade do ambiente interior na Habitação 2.1

Pela análise da Figura 5.119, verifica-se que os habitantes davam maior importância ao conforto térmico (31%), seguindo-se o conforto acústico (25%) e a qualidade do ar (25%) e, por último, o conforto lumínico (19%).

Edifício 3 - Habitação 3

No que diz respeito à avaliação do estado de conforto térmico por parte dos ocupantes, estes sentiam-se confortáveis, não sentindo necessidade de haver qualquer alteração do ambiente térmico.

Em relação ao ambiente acústico, lumínico e à qualidade do ar interior, os ocupantes consideraram-se também confortáveis. Esta avaliação não está de acordo com os resultados obtidos na análise objectiva, excepto para o conforto lumínico.

Ao nível do conforto acústico esta avaliação pode ser devida ao facto dos ocupantes se acomodarem, ao nível da qualidade do ar interior, pode dever-se essencialmente ao facto de ser difícil fazer uma avaliação subjectiva correcta do mesmo, dado que uma falta de qualidade do ar pode ser muitas vezes imperceptível, por exemplo o monóxido de carbono é inodoro.

Quanto ao peso dado a cada parâmetro contribuinte para a qualidade do ambiente interior, os resultados obtidos foram os indicados na Figura 5.120.

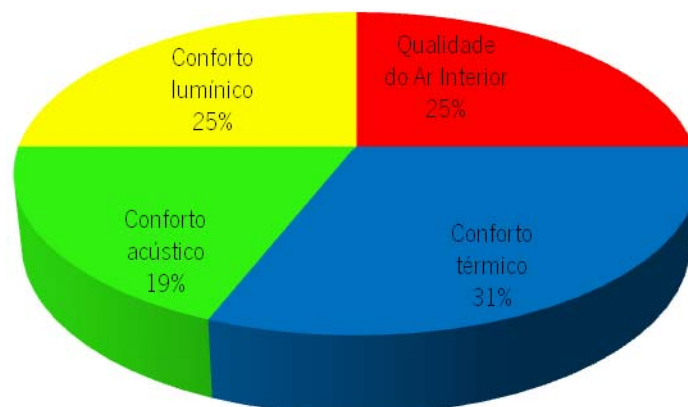


Figura 5.120 – Pesos relativos aos parâmetros de qualidade do ambiente interior segundo os ocupantes da Habitação 3

Pela análise da Figura 5.120, verifica-se que o conforto térmico (31%) é aquele que é mais valorizado pelos ocupantes, seguindo-se do conforto lumínico e qualidade do ar interior (ambos com 25%) e, por último, o conforto acústico (19%).

Edifício 4 - Habitação 4

No que diz respeito à avaliação do estado de conforto térmico por parte dos ocupantes, estes sentiam-se confortáveis, não sentindo necessidade de haver qualquer alteração do ambiente térmico.

Em relação ao ambiente acústico, lumínico e qualidade do ar interior, os ocupantes indicaram que se sentiam confortáveis. Estes resultados apenas são coerentes com as avaliações objectivas na avaliação do conforto lumínico.

A avaliação objectiva do conforto acústico mostrou que os níveis sonoros medidos proporcionavam desconforto aos ocupantes. Esta discrepância entre a avaliação objectiva e a avaliação subjectiva pode ser resultante da acomodação dos ocupantes ao ambiente em que vivem.

Os pesos atribuídos a cada parâmetro que afecta a qualidade do ambiente interior pelos ocupantes da Habitação 4 são os indicados na Figura 5.121.

Pela análise da Figura 5.121, verifica-se que é dada maior importância ao conforto térmico (29%), à qualidade do ar interior (25%) e, por último, o mesmo peso para o conforto lumínico e acústico (ambos com 23%).

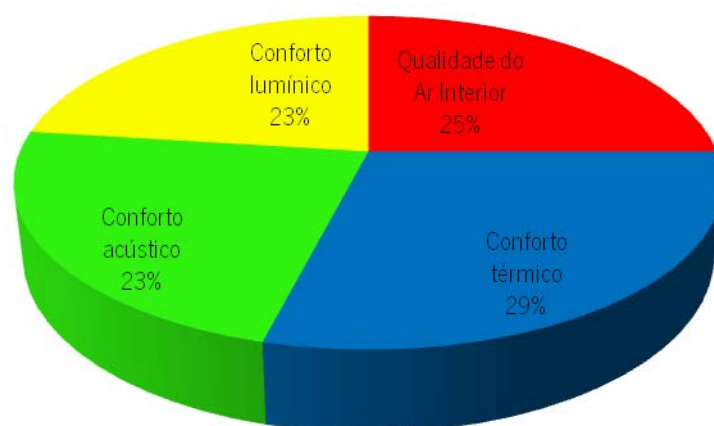


Figura 5.121 – Peso de cada um dos parâmetros de qualidade do ambiente interior de acordo com os ocupantes da Habitação 4

Edifício 5 - Habitação 5.1

Os ocupantes consideraram, de uma forma geral, que o ambiente térmico se encontrava ligeiramente frio, o que estava de acordo com a análise objectiva realizada.

O ambiente acústico era de acordo com a opinião dos ocupantes ligeiramente desconfortável, apontando como principal fonte o ruído proveniente do exterior.

Os ocupantes avaliaram as condições lumínicas e a qualidade do ar interior como confortáveis, apesar de os resultados das medições das condições in situ mostrarem que os níveis de iluminação não eram suficientes e que as concentrações de CO₂ eram muito elevadas.

Em relação ao peso dado a cada parâmetro contribuinte para a qualidade do ambiente interior, os resultados obtidos foram os indicados na Figura 5.122.

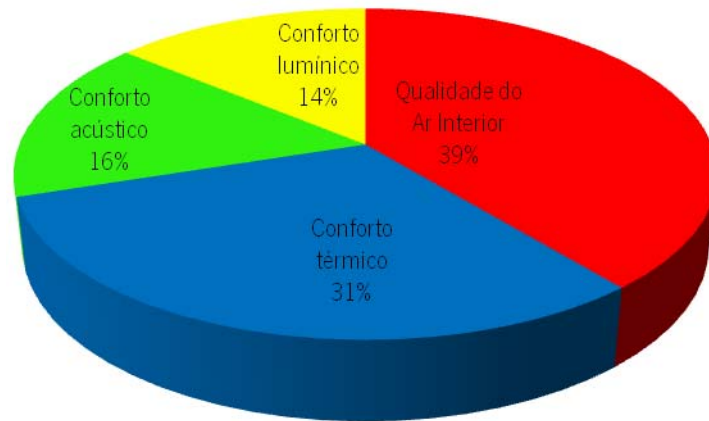


Figura 5.122 – Peso de cada parâmetro da qualidade do ambiente interior na Habitação 5.1

Verificou-se (Figura 5.122) que os ocupantes atribuem um maior peso à qualidade do ar (39%), seguindo-se do conforto térmico (31%), o conforto a acústico (16%) e, por último o conforto lumínico (14%).

Edifício 6 - Habitação 6.1

Em relação ao conforto térmico, os ocupantes revelaram-se satisfeitos com o ambiente em que se encontravam, em condições sedentárias e com vestuário típico de Inverno.

O ambiente acústico foi classificado como ligeiramente desconfortável, sendo que os ruídos incomodativos eram provenientes essencialmente do exterior. Tal como no ambiente acústico, também no ambiente lumínico, os habitantes manifestaram um ligeiro desconforto, devido à insuficiência de iluminação.

A qualidade do ar interior foi classificada de forma favorável, apesar da elevada concentração de partículas respiráveis medidas na cozinha.

Toda a avaliação efectuada pelos ocupantes está de acordo com as avaliações objectivas, verificando-se uma maior exigência a nível do conforto lumínico em relação aos restantes critérios utilizados para a avaliação.

No que diz respeito ao peso atribuído a cada parâmetro verificou-se, pela análise da Figura 5.123, que em primeiro lugar classificaram a qualidade do ar interior e o conforto térmico, ambos com 28% e, em segundo lugar, o conforto lumínico e o conforto acústico, ambos com 22%.



Figura 5.123 – Peso atribuído aos parâmetros da qualidade do ambiente interior na Habitação 6.1

Verificou-se que é dada igual importância ao conforto térmico e qualidade do ar interior e ao conforto lumínico e acústico.

Os ocupantes ambientam-se as condições térmicas e podem intervir para alterar a situação (aumentar a quantidade de roupa ou ligar um aquecedor), no entanto, o mesmo não acontece em relação ao ambiente acústico, uma vez que a principal fonte de ruído é o exterior e, ao sentirem-se penalizados com os níveis sonoros e não podendo alterar os seus valores atribuem uma maior importância.

Edifício 7 - Habitação 7.1

Os ocupantes da Habitação da Habitação 7.1 não manifestou desconforto associado ao ambiente térmico, lumínico e acústico, mas classificou a qualidade do ar como ligeiramente desconfortável.

As medições in situ indicaram que a Habitação 7.1 como um local ligeiramente frio, de acordo com a escala de Fanger, no entanto os ocupantes habituam-se as condições do espaço. As condições acústicas

Na qualidade do ar verificou-se que a concentração de CO₂ era elevada, tendo também sido detectada a presença de concentrações elevadas de CO, na sala e, de partículas respiráveis em todos os compartimentos, ainda que respeitando os valores de referência.

Em relação ao ambiente acústico, os níveis sonoros medidos in situ eram elevados e as condições lumínicas o FLD cumpria as recomendações da CIE.

Na Figura 5.124 apresenta-se o peso que os ocupantes atribuíram aos parâmetros em avaliação.

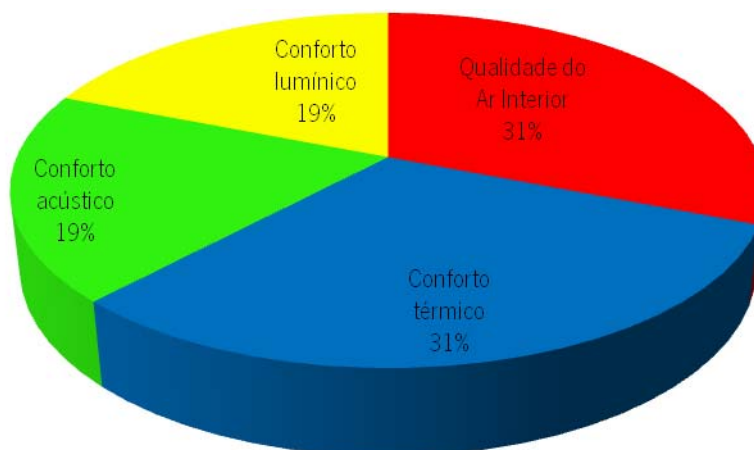


Figura 5.124 – Peso atribuído aos parâmetros da qualidade do ambiente interior na Habitação 7.1

Pela análise da Figura 5.124, verificou-se que os ocupantes davam uma significativa importância ao conforto térmico e qualidade do ar interior, ambos com 31% e ao conforto acústico e lumínico, ambos com 19%.

Edifício 8 - Habitação 8.1 e Habitação 8.2

Os quatro ocupantes da Habitação 8.1 consideraram-se confortáveis em relação aos quatro factores que contribuem para a qualidade do ambiente interior analisadas.

Na habitação 8.2 os ocupantes manifestaram-se confortáveis em relação ao ambiente acústico, lumínico e em relação à qualidade do ar interior, sentindo-se ligeiramente desconfortáveis em relação ao ambiente térmico. Estas observações estão de acordo com as medições realizadas in situ.

Os pesos atribuídos a cada um dos parâmetros que contribui para a qualidade do ambiente interior obtidos na Habitação 8.1 e na Habitação 8.2 são apresentados na Figura 5.125 e na Figura 5.126, respectivamente.

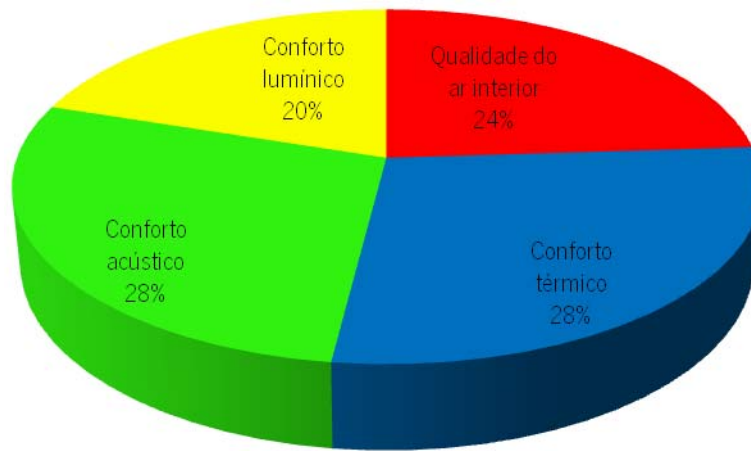


Figura 5.125 – Peso dado a cada parâmetro da qualidade do ambiente interior na Habitação 8.1

Pela análise da Figura 5.125, verifica-se que os habitantes davam maior importância ao conforto térmico e ao conforto acústico (28%), à qualidade do ar (20%) e, por último, o conforto luminoso (20%).

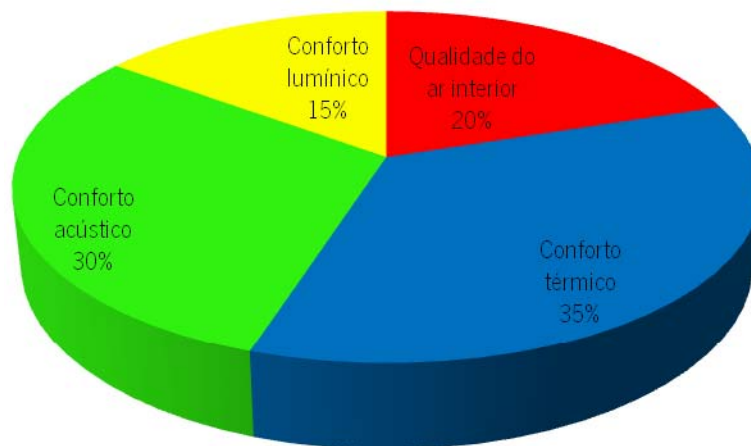


Figura 5.126 – Peso dado a cada parâmetro da qualidade do ambiente interior na Habitação 8.2

Pela análise da Figura 5.126, verifica-se que os habitantes davam maior importância ao conforto térmico (35%), seguindo-se o conforto acústico (30%) e a qualidade do ar (20%) e, por último, o conforto luminoso (15%).

Peso de cada parâmetro da Qualidade do Ambiente interior

De acordo com as respostas (26) da análise qualitativa efectuada, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 5.127.

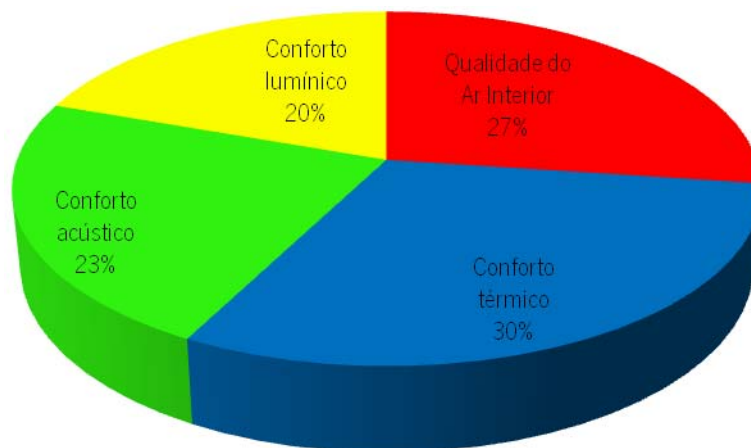


Figura 5.127 – Peso atribuído aos parâmetros da qualidade do ambiente interior pelos ocupantes das diversas habitações estudadas

No conto geral o conforto térmico (30%) é o parâmetro mais valorizado, seguido da Qualidade do Ar Interior (27%) e do conforto acústico (23%) e do conforto luminoso (20%). O desvio padrão das respostas obtidas é inferior a 6%, sendo o valor máximo obtido para a QAI e o valor mínimo do desvio padrão registado para o conforto térmico, cerca de 2%.

Verifica-se assim que existe um grande número de hipóteses, associadas à geometria, soluções construtivas e materiais que permitem assegurar a qualidade do ambiente interior. No entanto, é necessário seleccionar as soluções construtivas e materiais, sensibilizar os ocupantes para o correcto uso dos edifícios, por exemplo através do manual de utilização da habitação e assegurar formas de ventilação independentes da operação por parte dos ocupantes de modo a assegurar a optimização do desempenho dos edifícios.

Capítulo 6 - Optimização dos Edifícios para Assegurar a Qualidade do Ambiente Interior

Neste capítulo é avaliada a viabilidade e as potencialidades da utilização de um método de análise multicritério e da sua selecção, para auxílio à ordenação e escolha de soluções de projecto visando optimizar a qualidade do ambiente interior e a sustentabilidade dos edifícios. É também apresentado neste capítulo um exemplo de aplicação do método de análise multicritério seleccionado para a selecção de soluções de projecto mais adequadas, tendo por base as simulações realizadas.

O objectivo deste capítulo é apresentar uma possibilidade de optimização do comportamento de um edifício, em relação à qualidade do ambiente interior, tendo por base a selecção de uma série de alternativas, ressaltando as suas especificidades. Apresenta-se uma descrição do método de análise multicritério utilizada para ordenação das soluções de projecto.

6.1 Introdução

Uma vez que existe uma multiplicidade de factores que afectam as diversas condições de conforto e, muitas vezes, em sentido contrário, é necessário identificá-los, avaliar se contribuem favorável ou desfavoravelmente para a obtenção das várias condições de conforto, identificar quais são os mais importantes para tal e realizar uma análise multicritério de modo a escolher as soluções mais adequadas para garantir a qualidade das construções, isto ao longo dos 50 anos de vida útil dos edifícios (Life Cycle Assessment), ao mesmo tempo que também é necessário assegurar a sustentabilidade destas soluções.

A escolha dos melhores opções no que diz respeito à optimização das condições de conforto no interior do edifício é um problema complexo e requer soluções que reflectam impactes nos aspectos técnicos, referentes à opção de soluções relativas às características dos edifícios (geometria, orientação, área e tipo de envidraçados e sistemas de sombreamento, soluções construtivas para paredes, coberturas e pavimentos, etc.) em termos dos graus de importância a eles atribuídos.

O processo de concepção e projecto de um edifício representa a forma pela qual quem projecta sintetiza todos os dados de que dispõe, numa solução capaz de superar as restrições ambientais, materiais, financeiras e assim por diante.

Estas restrições aumentam com o avançar do processo de concepção, ou seja, as alternativas de projecto reduzem-se à medida que o projecto se desenvolve.

É durante a fase inicial de projecto que os aspectos gerais de forma, geometria, orientação e soluções construtivas do edifício são definidos. Todas as decisões subsequentes e cálculos relativos ao projecto são baseados nestas características. Portanto, é cada vez mais difícil e oneroso alterar o projecto à medida que ele for desenvolvido. Deste modo as decisões tomadas na fase de projecto têm então efeito directo na construção e no desempenho do edifício ao longo da sua vida útil (Ellis, 2001).

No início do projecto o edifício é tratado como um todo e integrado na envolvente, ou seja a geometria, e depois avança-se em direcção aos detalhes, tipo de soluções construtivas, cores e acabamentos.

Para optimizar as condições de conforto no interior dos edifícios é necessário encontrar uma, ou a combinação ideal entre as diferentes vertentes do conforto e dos diferentes parâmetros e factores que intervêm na sua obtenção. A combinação a seleccionar é aquela que mais se aproxima do desempenho desejado, sempre baseado num critério ou conjunto de critérios definidos, tais como os consumos energéticos, o conforto térmico, acústico e lumínico e a qualidade do ar interior, etc..

Tomando como exemplo os dois apartamentos tipo definidos, que se distinguem pelo número de paredes em contacto com o exterior e a orientação a elas associadas, verifica-se que cada uma dessas habitações está exposta a uma incidência de radiação solar distinta, conduzindo a cargas térmicas globais também diferentes.

Por exemplo, em relação à optimização dos consumos energéticos e das condições de conforto térmico no seu interior, estimando as diferenças entre os consumos energéticos das duas habitações, das temperaturas (ambiente e superficial), e o número de horas confortáveis durante o período de ocupação (previstas usando o programa EnergyPlus), pode-se determinar qual das duas apresenta melhor desempenho e qual deles representa, portanto, uma melhor solução.

O mesmo acontece para as restantes vertentes associadas à qualidade do ambiente interior, considerando vários parâmetros e vários critérios, tornando a questão muito mais complexa.

Uma vez analisados os diversos factores e parâmetros que afectam a qualidade do ambiente interior dos edifícios estes devem ser avaliados sob vários critérios, para então serem utilizados no processo de escolha da solução optimizada, sendo este um problema de decisão.

Neste estudo, foi dada prioridade a algumas grandezas e ignoraram-se outros aspectos não menos importantes, como por exemplo, o factor custo. Partiu-se do princípio de que o projectista possui liberdade de criação e de selecção de soluções e materiais, não sendo o custo da solução escolhida o factor preponderante.

Além disso, em geral o promotor e construtor querem gastar o mínimo possível nos materiais e na execução da obra, deixando para os futuros utilizadores os custos inerentes ao uso do edifício (consumos energético para climatização, etc., manutenção e reabilitação). Estes custos representam um valor significativo ao longo da vida do edifício e não são considerados pela lógica empresarial actual.

Assim, à luz da sustentabilidade, a análise económica do investimento a ser feito requer que não somente o custo de construção do edifício seja considerado, mas também que seja dada uma valorização económica à questão da qualidade ambiental da mesma. Ou seja, devem ser tidos em consideração os custos relativos ao uso do edifício e ao futuro desmantelamento / demolição do mesmo, e assim por diante, numa análise económica global.

Por estes motivos, o critério custo, sempre importante, foi excluído deste estudo, não significando que tal não seja considerado na fase final, face a várias soluções equivalentes em termos de optimização da qualidade ambiental do edifício seja seleccionada a de menor custo. No entanto, este custo deve ser, tal como referido, o custo global e não o custo de construção, como em geral acontece.

Considerando o exposto, pode-se verificar que na fase inicial de concepção, visando atender às questões de sustentabilidade e de eficiência energética, a atenção do projectista deve ser voltada para as características do ambiente físico do edifício e da sua envolvente.

As condições que afectam o desempenho do edifício estão associadas ao local de implantação:

- localização geográfica do local de implantação (altitude, latitude, longitude, topografia);
- orientação do local de implantação e interferências da envolvente (outros edifícios, vegetação);
- orientação do edifício (orientações das fachadas);
- direcção e velocidade dos ventos;
- condições climáticas, incidência da radiação solar;
- sombreamentos exteriores ao edifício;

e aos aspectos gerais do edifício:

- volumetria exterior;
- orientação das fachadas em relação ao local de implantação e orientação geográfica;
- áreas da envolvente exterior opaca e envidraçada expostas à radiação solar;
- área da envolvente exterior associada à ventilação;
- nível de sombreamento da fachada devido a dispositivos integrados;
- soluções construtivas e materiais utilizados.

É então necessário encontrar uma combinação ideal entre os diferentes parâmetros, ou a que se aproxime do desempenho desejado, com base num conjunto determinado de critérios. Neste estudo os critérios seleccionados são os consumos energéticos, o conforto térmico, acústico e lumínico e a qualidade do ar interior.

6.2 A Decisão / Selecção Face à Multiplicidade de Critérios

Qualquer decisão requer a avaliação ou ponderação simultânea de diversos factores intervenientes.

A Técnica da Pesquisa Operacional é a área do conhecimento que lida com problemas de optimização de processos. Trata-se de uma técnica quantitativa para tomada de decisão, que permite a objectivação dos juízos de valor ou subjectividade inerente ao processo decisório em que interagem vários agentes e em que a decisão deve ser baseada em múltiplos critérios.

O apoio multicritério à decisão (AMD) consiste num conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões, dada uma multiplicidade de critérios.

O apoio multicritério à decisão (AMD) trata os factores que influenciam a decisão como critérios ou atributos, visando apoiar o processo de tomada de decisão através de métodos analíticos que possibilitem ao agente de decisão ter em consideração critérios múltiplos, conflituantes, inclusive de natureza qualitativa, com o objectivo de fornecer um curso de acção consistente para o problema em análise (Gomes et al., 2004).

As técnicas multicritério fazem parte da classe de métodos/técnicas, de diferentes inspirações científicas, que têm como objectivo proporcionar a selecção de uma ou várias soluções para um problema apresentado ou promover uma classificação entre um conjunto de alternativas.

No âmbito de um processo de decisão chamado de "racional", foram identificadas seis grandes "famílias" para essa classe de métodos/técnicas baseados em diferentes princípios e abordagens, que englobam métodos de análise económica, análise de riscos, de optimização, de análise com múltiplos objectivos, sistemas especialistas, redes neurais, etc., sendo os métodos económicos os que têm sido os mais largamente utilizados (Pearce e Markandya, 1989; Souza, 1997):

- a análise custo/benefício;
- a análise custo/eficiência;
- a análise risco/benefício;
- a análise de decisão;
- o estudo de impacte ambiental;
- métodos que envolvem Inteligência Artificial, redes neurais; e
- a análise multicritério.

O que distingue esta última família das outras é sua capacidade de tratar dos problemas multi-objectivo.

Os métodos de análise de decisão com múltiplos objectivos devem ser utilizados para ser possível alcançar um “ponto de satisfação” para um conjunto de objectivos delineados. Estes métodos podem substituir com vantagens os métodos económicos e de optimização, devido aos princípios economicista e à materialização das variáveis de decisão envolvidas (Souza, 1992; Souza e Forster, 1996).

Ao contrário das famílias de inspiração económica e financeira, em que a selecção ou a hierarquização de alternativas ocorre através da busca da optimização de apenas um objectivo, numa análise multicritério a decisão pode ser tomada ou a classificação pode ser feita com base em um grupo de critérios a serem optimizados.

A análise multicritério propõe um modelo mais flexível de abordagem, em que não se configuram, necessariamente, as características básicas das abordagens de natureza económica. Nesse caso, a regra de decisão não se limita a uma função $z(x)$ e sim a um grupo de funções ou atributos.

Com a existência de mais atributos de comparação entre alternativas, a determinação da superioridade entre uma sobre outra alternativa pode não se tornar clara, isto é, não haver uma situação chamada de situação de “dominância”, onde a totalidade dos atributos de uma alternativa tem superioridade em relação aos atributos da outra. Também não se torna clara a transitividade entre alternativas comparadas, pois poderá haver a dominância em relação a um critério entre alternativas que não necessariamente se verifique em outro.

Torna-se assim necessário o uso de métodos com ferramentas capazes de resolver a questão. Essas ferramentas podem ainda abranger novos conceitos como a indiferença e a incomparabilidade de características.

Essa metodologia pode também ser utilizada em casos em que não se tem apenas um elemento decisor, mas um grupo de decisores, cada um com objectivos, critérios próprios, frequentemente conflitantes. O agente decisor pode ser composto por grupos de indivíduos, empresas ou instituições.

O aspecto vantajoso da análise multicritério é que consegue reflectir melhor os objectivos e as limitações introduzidas nas alternativas estudadas. Permite, também, quantificar custos implícitos, não traduzíveis por análises custo-benefício e estabelecer uma lista das prioridades de projecto. Como desvantagens, existe a necessidade de um grande número de informações para cada alternativa avaliada. O valor de seu resultado é dependente dos critérios avaliados e de sua aplicabilidade à problemática em questão e dos agentes decisores, o que pode tornar a análise mais subjectiva.

De um modo geral, pode-se inferir que as técnicas multicritério, ao adoptarem um visão mais normativa que as técnicas de tipo custo-benefício, podem auxiliar na:

- formalização do problema a partir da identificação dos intervenientes, das alternativas e dos critérios, permitindo uma avaliação em etapas (grande número de acções para um grupo mais reduzido de acções representativas);
- redução de conflitos potenciais na etapa de avaliação, a partir da construção de uma base de resultados sintéticos, que pode servir de ponto de partida aceito por todos os atores, antes do efectivo início da etapa decisória.

O objectivo do apoio multicritério à decisão é integrar a medição objectiva com avaliação de valor e, ao mesmo tempo, explicitar e administrar a subjectividade envolvida (Belton e Stewart, 2002),

O objectivo desse processo não é fornecer uma resposta unívoca ao problema em questão. Por outro lado, não é possível eliminar a subjectividade que existe na tomada de decisão, mas, ao explicitá-la, em geral dá-se maior transparência ao processo (Goodwin e Wright, 2000).

O principal benefício que o decisor pode obter ao utilizar o apoio multicritério à decisão é facilitar a sua aprendizagem e conhecimento do problema, as suas prioridades, valores e objectivos. Uma vez estruturados esses elementos, a metodologia funciona como um guia para auxiliar o decisor na identificação da melhor acção ou curso de acções.

As teorias de apoio multicritério à decisão propõem abordagens que permitem tratar de problemas de decisão, que apresentam mais de um objectivo (Roy, 1985; Zeleny, 1982).

Os problemas complexos de tomada de decisão são comuns nas diversas áreas. Bem como noutras áreas, na engenharia desde tempos mais remotos o homem tenta resolvê-los, apoiando-se em abstrações, heurísticas e raciocínios dedutivos, com o objectivo de orientar e validar as suas escolhas (Gomes, Araya e Carignano, 2004).

Na Engenharia Civil a todo o momento os projectistas se deparam com situações que exigem decisões, as quais são carregadas de complexidade.

Os engenheiros deparam-se actualmente com as mais complexas tarefas no projecto de edifícios e para se assegurarem de cumprir tais tarefas assertivamente, os profissionais procuram uma série de ferramentas que os auxiliem no processo de tomada de decisões (Marçal e Susin, 2005).

O planeamento em domínios como a engenharia constitui assim uma área em que técnicas de auxílio à decisão podem ser eficientemente aplicadas (Cohon e Marks, 1975). Isso deve-se ao facto de que grande parte dos problemas ligados a esta área ser caracterizada por:

- a) vários tipos e níveis de incerteza;
- b) um quadro complexo de objectivos, geralmente com objectivos elementares de carácter multidimensional;
- c) dificuldade na identificação do decisor (único, vários ou nenhum) e
- d) uma sofisticada estrutura de alternativas, que frequentemente combina várias acções elementares com vários horizontes de planeamento (curto, médio e longo prazo).

Assim, a tomada de decisão é difícil uma vez que existem:

- Critérios de decisão múltiplos e conflitantes, quantificáveis e não quantificáveis;
- Interesses distintos;
- Opiniões técnicas divergentes;
- Informação não totalmente disponível;
- Incertezas.

Para realizar uma análise multicritério é necessário saber:

- Como lidar com múltiplos critérios (ou objectivos) em simultâneo, sendo alguns quantitativos e, outros, dificilmente quantificáveis ou qualitativos;
- Como tornar transparente o processo de tomada de decisão, de modo a facilitar o conhecimento e aprendizagem;

- Como tornar a subjectividade objectiva;
- Como tomar uma decisão que tem de ser objectiva e imparcial;
- Basear a decisão em critérios objectivos e transparentes
- Como procurar o consenso;
- Como escolher alternativa óptima;
- Que a decisão nem sempre é técnica;

De modo geral, problemas complexos de tomada de decisão apresentam pelo menos uma das características seguintes (Gomes, Araya e Carignano, 2004):

- Os critérios para resolução do problema são conflitantes entre si;
- Tanto os critérios como as alternativas não estão claramente definidas, e as consequências da escolha de uma alternativa em relação a pelo menos um critério, não são devidamente compreendidas;
- Os critérios e as alternativas podem estar interligados, de forma que um critério pode ter reflexos nos restantes;
- A solução dos problemas depende de um conjunto de pessoas, cada uma com pontos de vistas próprios, em geral conflitantes;
- As restrições dos problemas não estão bem definidas, podendo existir dúvidas em relação ao que é critério e ao que é restrição;
- Existem critérios quantificáveis, e outros são-no apenas por meio de juízos de valor realizados sobre uma escala;
- A escala para um critério pode ser cardinal, verbal ou ordinal, dependendo da disponibilidade de dados e da natureza dos critérios.

Para solucionar estes problemas pode recorrer-se ao Apoio Multicritério à Decisão, que consiste num conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar a tomada de decisões, quando existir uma multiplicidade de critérios. Este processo pode ser decomposto em etapas (Gomes et al., 2004):

- 1) Identificar os decisores e os seus objectivos;
- 2) Definir as alternativas;
- 3) Definir os critérios relevantes para o problema de decisão;
- 4) Avaliar alternativas em relação aos critérios;
- 5) Determinar a importância relativa dos critérios;
- 6) Realizar a avaliação global de cada alternativa;
- 7) Conduzir uma análise de sensibilidade;
- 8) Propor recomendações; e
- 9) Implementar as acções.

As etapas 1, 2 e 3 constituem a Fase de Estruturação, que trata da formulação do problema e procura identificar, caracterizar e organizar os factores considerados relevantes no processo de apoio à decisão. É

uma fase interactiva e dinâmica, pois fornece uma linguagem comum aos decisores, o que possibilita a aprendizagem e o debate.

As etapas 4, 5, 6 e 7 compõem a Fase de Avaliação, que tem como objectivo a aplicação de métodos de análise multicritério para apoiar a modelação das preferências e a sua agregação.

A terceira fase, composta das etapas 8 e 9, é a Fase de Recomendação dos cursos de acção a serem seguidos.

Deve-se ainda ter em atenção que uma família de critérios, ou seja, o conjunto de critérios usados numa determinada situação de decisão, deve satisfazer três condições (“axiomas de Roy”) para ser uma família coerente de critérios (Roy e Bouyssou, 1993):

- Exaustividade (é necessário descrever o problema tendo em consideração todos os aspectos relevantes);
- Coesão (é fundamental a correcta análise de quais são os critérios de maximização e quais os de minimização);
- Não Redundância (é essencial excluir critérios que avaliem características já consideradas por outro critério).

A Análise Multicritério tem como principal objectivo auxiliar o decisor a articular as suas preferências em presença de ambiguidades, bifurcações e incertezas, tornando a sua decisão mais coerente com seus interesses. São muito frequentes em aplicações reais as situações conflituantes do tipo: a alternativa a é preferida à b, considerando-se algumas das suas características, e não preferida, considerando-se outras. Na prática, normalmente um único ponto de vista é insuficiente para incluir toda a informação necessária e todas as contradições inerentes ao problema. Daí a importância de a análise de decisão considerar vários critérios.

Na escolha da solução final do problema de optimização multi-objectivo, em geral, os critérios de decisão são derivados dos múltiplos objectivos e das preferências do decisor, são utilizados para dissolver os conflitos intrínsecos ao problema. A existência de um grande número de alternativas torna ainda mais complexa essa escolha.

A selecção das melhores opções de forma a optimizar a sustentabilidade e o conforto dos edifícios é o tipo de problema que existe quando o objectivo é encontrar soluções eficientes para os edifícios.

Diante de um conjunto de variáveis importantes (forma, orientação, área de envidraçados, soluções construtivas para os elementos do edifício, materiais, etc.) o projectista selecciona uma de entre um grande número de soluções e possibilidades.

Todas as possibilidades têm que respeitar os requisitos regulamentares e podem apresentar um desempenho bom num aspecto, por exemplo a qualidade térmica, mas não ser a melhor solução em relação ao comportamento acústico, sendo por isso difícil prever o desempenho global dessa solução.

É então necessário um método que permita definir qual é o conjunto de soluções que conduz à solução óptima para o projecto. Esta análise deve ser realizada parâmetro a parâmetro e é necessário definir um conjunto de critérios para comparar as diferentes alternativas.

O número de parâmetros em análise e os critérios devem ser definidos em função do local de implantação e do tipo de edifício, sendo a opção final uma decisão do avaliador.

Se possível deve ser definida uma solução óptima, com a qual serão comparadas as diferentes alternativas e depois obter uma solução de compromisso.

Uma forma de realizar este estudo é através de uma análise multicritério. De seguida referem-se de forma breve a forma de realização de uma análise multicritério e os diferentes tipos de análise existentes.

6.2.1 Análise multicritério

As noções básicas na formulação de um problema de optimização multicritério são as variáveis de decisão, as restrições e os critérios de optimização. As variáveis de decisão são quantidades que descrevem estruturas sujeitas à variação ao longo do processo de optimização, e são expressas, geralmente, na forma de um vector dentro de um espaço tridimensional denominado espaço de decisão.

Cada ponto desse espaço corresponde, no caso do projecto de edifícios a uma solução de projecto com “n” variáveis de decisão. As restrições impostas às variáveis determinam o contorno da região de soluções exequíveis do espaço de decisão, e tomam a forma de igualdades ou desigualdades que descrevem certas condições que devem ser satisfeitas pelas soluções de projecto. No espaço tridimensional, as restrições formam uma hiper-superfície contendo os pontos (alternativas de projecto) que atendem os limites estabelecidos (Marks, 1997).

Na optimização do comportamento de edifícios a função objectivo é uma expressão matemática que descreve alguma propriedade do objecto de estudo (o edifício). O resultado calculado para a função objectivo é a base para a selecção da melhor alternativa para o problema proposto. Podendo esta não ser uma função linear. Neste caso de optimização multicritério, o problema transforma-se no cálculo de um vector contendo as diversas funções objectivo, cada uma para cada um dos critérios seleccionados.

A solução que faz cada função objectivo atingir um valor extremo (um máximo ou um mínimo) independentemente das outras funções é chamada de solução ideal.

Na prática, as funções objectivo geralmente estão em conflito umas com as outras e a solução ideal pode não ser encontrada. A solução que pode ser obtida é então designada de não-dominante ou solução eficiente. Podem também existir mais do que uma solução eficiente para cada um dos factores base (conforto térmico, acústico e lumínico, qualidade do ar e consumos energéticos, por exemplo) e a solução mais eficiente para um pode não o ser para os restantes. Por isso, é necessário seleccionar, entre as soluções não-dominantes, a melhor solução, a qual se denomina solução preferida.

A solução preferida é considerada como o ponto situado mais próximo da solução ideal, no espaço de soluções exequíveis.

O problema de optimização multicritério é, portanto, solucionado em duas etapas. A primeira é a determinação do conjunto das soluções eficientes. A segunda, a determinação da solução preferida.

Existem algumas técnicas para se encontrar o conjunto de soluções não dominantes, que visam, basicamente, converter as diferentes funções objectivo numa única função. A mais comum é conhecida como o método dos pesos, e consiste em obter essa função única como uma soma ponderada das funções objectivo individuais.

A escolha da solução preferida, por sua vez, pode ser feita através de métodos clássicos, em que se procura, utilizando o cálculo diferencial, determinar os máximos e mínimos da função objectivo “unificada”. Entre esses, podem referir-se o Método do Gradiente, o Método Jacobiano (ou das Derivadas Restritas), o Método Lagrangeano, Programação Convexa Separável, Programação Quadrática, Método das Combinações Lineares e outros, que têm sua utilização definida pelo tipo da função e das restrições do problema.

Este tipo de análise permite que o mau desempenho num critério seja compensado pelo bom desempenho noutra, não sendo por isso o tipo de análise considerada neste trabalho.

Existem também os métodos baseados na análise multicritério que se aplicam quando as variáveis do problema não podem ser descontextualizadas (Sharlig, 1985).

Diante de um conjunto discreto de alternativas descrito por uma série de critérios, existem quatro diferentes tipos de análise que podem ser realizadas considerando o apoio à decisão:

- identificar a melhor alternativa ou seleccionar um número limitado de melhores alternativas (problema de Selecção);
- classificar as alternativas segundo grupos homogéneos pré-definidos (problema de Classificação ou de Triagem);
- definir uma hierarquia de alternativas indo das melhores para as piores (problema de Ordenação);
- identificar os aspectos principais das alternativas e descrevê-las segundo aqueles aspectos (problema de Descrição);

Para o caso específico de ter que decidir entre várias alternativas de projecto, o projectista de um modo geral encontra-se face a um problema ou de escolha/selecção, ou de ordenação. A princípio, a opção por resolver um problema de escolha da melhor alternativa parece mais apropriada, pois, aparentemente, deixa uma margem menor para a dúvida. Se for possível dizer, sem hesitação, qual a melhor solução de projecto, o processo de tomada de decisão torna-se mais simples. Entretanto, deve-se ter em conta que um projecto de um edifício envolve muitos intervenientes e não só os projectistas (arquitectos e engenheiros de várias especialidades, mas também promotores, donos de obra construtores e os utilizadores finais).

Cada um destes intervenientes tem uma visão diferente do edifício e, na posição de decisores, diante de duas ou mais alternativas semelhantes, optam por uma diferente daquela escolhida pelo arquitecto ou pelo projectista, privilegiando um outro critério. E que para uma mesma situação, o engenheiro encarregado pelos sistemas mecânicos do edifício opte ainda por uma terceira, e assim por diante. Desta forma, é prudente considerar o problema de decisão como sendo do tipo ordenação. Isto garante que o resultado do processo de decisão retenha mais informação do que um processo de escolha, o qual elimina todas as outras alternativas. Desta forma, um problema de ordenação pode ser considerado uma evolução do problema de escolha, cuja direcção favorável é uma exploração da informação com algumas alterações (Maystre et al, 1994).

Além disso, é sempre possível seleccionar a solução mais adequada ou tão favorável quanto possível, da lista hierarquizada de soluções, à posteriori.

O problema de decisão relacionado à concepção de edifícios é assim um problema de ordenação, sendo as etapas a serem percorridas na pesquisa da lista hierarquizada das soluções de projecto as seguintes:

- listar as soluções possíveis ou consideráveis;
- listar os critérios a se considerar;
- avaliar cada uma das soluções com base em cada um dos critérios;
- agregar os critérios para designar a solução que apresenta globalmente as melhores características;

A primeira etapa é a definição do conjunto das acções potenciais que serão consideradas no processo de decisão.

Para um mesmo pré-requisito, por exemplo, a área total construída, teoricamente o edifício poderá ter um grande número de soluções que vão desde um edifício com grande altura, mas ocupando uma parte

reduzida do solo, a um edifício, de dimensões reduzidas, em altura, mas ocupando uma área de solo elevada. Mas, na realidade, na maior parte das vezes, o número de soluções possíveis é limitado por factores como o planeamento urbano, a tipologia, referências culturais, etc..

A segunda etapa é a escolha dos critérios a serem considerados ao longo do processo de decisão. Esses critérios são expressões qualitativas ou quantitativas de pontos de vista, objectivos ou restrições relativas ao contexto real, que permitem julgar objectos ou eventos. Para que tais expressões possam tornar-se critérios devem ser úteis para o problema considerado.

A análise multicritério deve considerar uma lista exaustiva e não redundante de critérios. Contudo, verificou-se, pela prática, que o método se torna impraticável com mais de 12 critérios (Roulet et al, 2002).

A abordagem multicritério de apoio à decisão pode ser caracterizada como um conjunto de métodos que procuram tornar claro um problema, no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, os quais na maioria dos casos são conflituantes (Gomes et al, 2002). Esse tipo de abordagem não apresenta uma solução ideal para os problemas, mas entre todas as possíveis, a mais coerente com a escala de valores e o método utilizado (Marins e Cozendey, 2005).

Os métodos de apoio multicritério à decisão têm um lado científico, mas ao mesmo tempo, subjectivo, apresentando consigo a capacidade de agregar todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com o objectivo de permitir a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisões (Gomes, Araya e Carignano, 2004).

Esses métodos multicritério destacam de forma diferenciada os problemas e passam a actuar sobre a forma de auxílio à decisão, apresentando algumas características bem definidas em relação à sua metodologia (Gomes, Araya e Carignano, 2004):

- A análise do processo de decisão, em que essa metodologia é aplicada, tem sempre o objectivo de identificar informações/regiões críticas;
- A existência de uma melhor compreensão acerca das dimensões do problema;
- A possibilidade de haver diferentes formulações válidas para um único problema;
- A admissão de que, em problemas complexos, as situações nem sempre se ajustam a um perfeito formalismo e, em particular, de que estruturas que representam de forma parcial a compatibilidade entre as alternativas podem ser relevantes no processo de auxílio à decisão,
- O uso de representações explícitas de uma estrutura de preferências, em vez de representações numéricas definidas artificialmente, muitas vezes pode ser mais apropriado a um problema específico de tomada de decisões.

O apoio multicritério tem como princípio, no processo de decisão, procurar a definição de uma relação de preferências entre as alternativas que estão a ser avaliadas sob a influência de vários critérios (Almeida e Costa, 2003). E o estudo de problemas de decisões, a partir da análise multicritério, não tem como objectivo apresentar ao decisor uma solução específica para o problema, mas sim, apoiar o processo de decisão ao recomendar acções ou cursos de acção a quem vai tomar a decisão (Gomes, Araya e Carignano, 2004).

No caso do projecto de um edifício, o uso da optimização multicritério apresenta algumas dificuldades que estão relacionadas com o tipo de problema a ser resolvido:

- Em primeiro lugar, os critérios utilizados fazem com que as funções objectivo sejam conflitantes em termos dos desempenhos do edifício, e não pode ser encontrada uma solução ideal. Assim o que se procura é uma solução de compromisso.

Por exemplo, o aumento do tamanho dos envidraçados significa não só a utilização de mais luz natural nos espaços, mas também, o aumento da carga térmica no interior do edifício e uma possível redução das condições de conforto térmico e um menor isolamento acústico.

- Em segundo lugar, os valores numéricos atribuídos às alternativas para alguns critérios estão sujeitos a imprecisões, incertezas e indeterminações, devido à própria natureza da actividade de projecto. Isso deve-se, principalmente, ao facto de que as “funções objectivo” definidas serem determinadas através de simulações em que as imprecisões são inerentes ao modelo do edifício definido. Assim, é impossível definir de forma rigorosa valores para todos os critérios, ou seja, as funções não são bem definidas.

Nesse caso, é preferível abandonar a procura da solução óptima e utilizar procedimentos de análise de decisão, que envolvem o uso de processos racionais para seleccionar a melhor entre diversas alternativas (Taha, 2003).

Foram desenvolvidos vários métodos para a abordagem e resolução de problemas com múltiplos critérios, ou seja para ordenação (ranking) de diversas alternativas segundo uma ordem de preferências, existindo dois grupos representativos de escolas (Almeida e Costa, 2003; Gomes, Araya e Carignano, 2004; Zopounidis e Doumpos, 2002):

- Escola americana: destacando-se:
 - Teoria da Utilidade Multiatributo - MAUT, que é derivada da Teoria da Utilidade (von Neumann e Morgenstern, 1944). Neste caso, são abordados aspectos da teoria da utilidade esperada;
 - Método de Análise Hierárquica - AHP (Saaty, 1980), onde se divide a decisão em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão do problema e a avaliação das possíveis soluções;
- Escola europeia: destacam-se os métodos de classificação:
 - Métodos da série PROMÉTHÉE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) - para se colocar as alternativas em ordem de prioridade;
 - Os métodos da família ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité ou seja “Tradução da Realidade por Eliminação e Escolha”) sugerem um novo conceito do modelo de preferências, mais flexível;

Outras abordagens ou métodos são a programação matemática multi-objectivo, SMART, MACHBETH, TODIM (Tomada de Decisão Interactiva Multicritério) (Almeida e Costa, 2003; Gomes e Lima, 1992; Saaty, 1977; Bana, Costa e Vasnick, 1994 e 2008; Salomon et al., 1999).

Os vários métodos diferem no modo como as preferências em relação aos vários critérios são especificadas e no modo como as alternativas são ordenadas (Cafiso et al, 2002).

A escolha do método vai depender de vários factores destacando-se as características do problema analisado, do contexto considerado, da estrutura de preferências do decisor e da problemática em si (Almeida e Costa, 2003).

Aspectos ligados às preferências do decisor são geralmente considerados para a escolha de um método de apoio à decisão. Em determinadas circunstâncias, simplicidade e facilidade de utilização podem ser factores cruciais para solucionar o problema. Muitas vezes, a falta de domínio de outras metodologias implica ao decisor a escolha de um determinado método, o qual nem sempre é o mais apropriado para a situação.

A aplicação de qualquer método de análise multicritério pressupõe a necessidade de se estabelecer quais os objectivos o decisor pretende alcançar, estabelecendo a representação destes múltiplos objectivos através do uso de múltiplos critérios e, assim, as soluções dos problemas de decisão variam em função do resultado pretendido (Almeida e Costa, 2003).

Em cada método, os dados se encontram na forma de uma “matriz de resultados”, onde as alternativas a_1, a_2, \dots, a_m são avaliadas pelos critérios de decisão f_1, f_2, \dots, f_n . Desse modo, a matriz é composta pelos valores $f_i(a_j)$, com $i = 1, 2, \dots, n$ e $j = 1, 2, \dots, m$. Essa matriz é conhecida como “pay-off matrix” ou “matriz de consequências” ou “matriz de resultantes”, ou ainda “matriz de avaliação”.

Estão descritos a seguir alguns dos principais métodos de análise de decisão com múltiplos objectivos, bem como sua estrutura lógica de funcionamento.

Método da Ponderação Aditiva Simples

O método da Ponderação Aditiva Simples (Wolf, 1987; Goicochea et al., 1982) baseia-se na relação entre o valor intra-critério e o peso da importância do critério de decisão. Para cada um dos critérios de decisão, estabelecem-se pesos de importância que se tornam os coeficientes das variáveis. Multiplica-se, então, cada valor intra-critério pelo peso do seu critério e obtém-se um Indicador total (I_i) para cada alternativa, pela soma desses produtos. A alternativa escolhida é a que obtém o valor mais alto do indicador total (I_i).

A principal vantagem do método é a facilidade de utilização e compreensão por parte dos utilizadores, no entanto não considera possíveis interações entre critérios.

Método da Programação de Compromisso

O método da Programação de Compromisso (“Compromise Programming”) foi elaborado para identificar a solução mais próxima de uma ideal, portanto não-viável, utilizando-se um determinado padrão de distâncias (Zeleny, 1973, 1974, 1982; Duckstein et al., 1994; e Teclé et al., 1988).

Existe uma versão modificada do método clássico de Programação de Compromisso, onde está incluída uma adaptação numérica para aplicá-lo a problemas discretos e facilitar a interpretação de resultados (Duckstein e Opricovic, 1980). Nesse método, a solução de compromisso do problema é aquela que mais se aproxima da “alternativa ideal”, identificada pela utilização de uma medida chamada “grau de proximidade”.

Para medir o grau de proximidade é necessária a determinação de dois vectores: o vector “ideal” - F^* (formado pelos melhores valores do problema discreto) e o vector “não-ideal” - F^{**} (formado pelos piores valores).

Método da Função Utilidade Multidimensional - FUM

Esse método consiste na agregação de diferentes critérios de decisão dentro de uma única função, chamada Função Utilidade Multidimensional - FUM (Kenney e Raiffa, 1976; Merkhofer e Kenney, 1987;

Duckstein et al., 1994). Tal função representa matematicamente a estrutura de preferências de decisão, incorporando a acção do agente decisor em situações de incerteza (Gobbetti e Barros, 1993). Para a construção da FUM, deve-se determinar a Função Utilidade Unidimensional (FUU) para cada critério de decisão, e combinar as FUU numa função única. A solução do método é dada pela alternativa que maximiza o valor da FUM.

Métodos da Série PROMETHEE

O método PROMETHÉE (Briggs et al. 1990) baseia-se numa relação de preferência entre as alternativas discretas envolvidas no problema. Para isso, define uma função de preferência (P) entre duas alternativas (a e b), dada por $P(a, b) = 0$, se $f(a) \leq f(b)$, e $P(a, b) = p[f(a) - f(b)]$, se $f(a) > f(b)$, onde f é o critério de decisão analisado. A função P indica a intensidade da preferência da alternativa a sobre a alternativa b, com base no desvio entre os valores de f. Isso é feito separadamente para cada critério, estando o seu valor compreendido num intervalo de 0 (indiferença) a 1 (preferência total). Para a classificação das alternativas, o método define ainda o “índice de preferência global” de a sobre b, $\pi(a, b)$, para cada a, b pertencente ao conjunto total de alternativas (X). Assim, o índice $\pi(a, b)$ torna-se uma medida da preferência de a sobre b, em relação a todos os critérios. Com isso, a avaliação de cada alternativa, a pertencente a X, pode ser efectuada considerando-se a determinação de dois outros valores: o “fluxo de importância positivo” $\emptyset^+(a)$ e o “fluxo de importância negativo” $\emptyset^-(a)$. A classificação das alternativas é feita considerando-se, para cada $a \in X$, o “fluxo de importância líquido”: $\emptyset(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^-(a)$. A alternativa que alcançar o maior valor de \emptyset é considerada a favorita.

Métodos da série ELECTRE

O Método ELECTRE-I (da sigla em francês para “Tradução da Realidade por Eliminação e Escolha”) é classificado como um método de eliminação sequencial baseado em comparações par a par entre alternativas (Benayoun et al., 1966 e por Roy, 1971). Desse modo, o método elimina um subconjunto de alternativas menos eficientes, e escolhe alternativas mais adequadas de acordo com a maioria dos critérios, sem, entretanto, causar um nível inaceitável de insatisfação em nenhum dos critérios (Gershon et al., 1982). Para isso, o método ELECTRE-I utiliza os conceitos fundamentais de “concordância”, “discordância” e a definição de seus valores limites aceitáveis.

O método ELECTRE-II (Hokkanen et al., 1995) foi elaborado com o intuito de produzir uma ordenação completa das alternativas analisadas. Esse método baseia-se nas mesmas considerações do ELECTRE-I, e utiliza ainda outros conceitos acessórios como relações de comparação “forte” e “fraca”, e condições de concordância e discordância distintas. O processo de ordenação das alternativas é realizado em três etapas: da pior alternativa para a melhor; da melhor para a pior; e uma ordenação final construída a partir da média aritmética das anteriores.

O método ELECTRE-III (Roy, 1991; Duckstein et al., 1994) é considerado o melhor para os casos de incerteza e imprecisão na avaliação das alternativas envolvidas no problema de decisão. Esse método permite analisar situações onde nem todas as alternativas são comparáveis entre si devido a consideráveis diferenças de pontos de vista. O ELECTRE-III elabora as comparações internamente, a partir de informações fornecidas pelo agente decisor sobre suas preferências inter-critérios e intra-critérios. Para isso, o método cria os conceitos de “indiferença”, “preferência fraca”, “preferência estrita” e define os seus limites. Desse modo, o método cria o conceito de pseudo-critério e, baseado em relações de comparações difusas, permite que o agente decisor expresse as suas preferências, fixando os limiares de indiferença, de preferência e de veto, e escolhendo os pesos que deverão medir o grau de importância dos vários critérios utilizados. A sua lógica de funcionamento é análoga aos outros métodos da série, onde

são estabelecidas ordenações preferenciais das alternativas: uma ascendente, uma descendente, e uma ordenação final formada a partir das anteriores.

O método ELECTRE III foi o seleccionado para realizar a avaliação multicritério neste trabalho, sendo, por isso, descrito em maior detalhe de seguida.

O método ELECTRE III

Considerando um número n de alternativas a_i , $i = 1, 2, \dots, n$, que resumem o conjunto de soluções possíveis para o problema, $A = \{a_i\}$ e C_1, C_2, \dots, C_m , os m critérios adoptados, então cada alternativa a_i é caracterizada por um vector multiatributo $\{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{im}\}$ que é a avaliação da alternativa perante os múltiplos critérios (Electre III, 1977).

O método ELECTRE III trabalha com uma estrutura de modelagem de preferências, segundo a qual se compara cada duas alternativas, obtendo-se:

- uma Preferência forte ou Fraca por uma das acções;
- uma Indiferença entre as duas acções; ou
- uma Incompatibilidade entre elas.

As situações de preferência ou indiferença são caracterizadas em função de limites de preferência “ p ” e limites de indiferença “ q ”, especificados pelo analista ou agente decisor.

O limite de preferência indica a diferença, absoluta ou relativa, a partir da qual uma preferência estrita pode ser estabelecida entre duas avaliações. O limite de indiferença, por sua vez, indica a diferença absoluta ou relativa para a qual nenhuma preferência pode ser estabelecida entre as alternativas, devido à imprecisão das medidas ou dos dados.

Introduz-se ainda um limite de veto “ v ” para cada critério “ C_i ”. Este índice permite definir a incomparabilidade da alternativa “ B ” em relação à “ A ”, se “ A ” é melhor que “ B ” para todos os critérios menos um, e sob este único critério “ B ” é melhor que “ A ”. O índice “ v ” representa a diferença a partir da qual se ignora a comparação entre as duas alternativas.

A importância dos critérios é estabelecida atribuindo-lhes pesos individuais. Estes pesos definem a importância de cada critério segundo a visão do agente decisor ou, melhor, a preferência relativa dos critérios determinada pelos intervenientes do processo de decisão. Uma pequena modificação nos pesos pode ainda ser utilizada para “quebrar” uma ordem de classificação em que duas alternativas apresentem uma mesma posição no ranking encontrado, refinando o processo de decisão (Miettinen e Salminen, 1999).

Com todos estes dados (critérios, pesos, limites e alternativas), monta-se uma matriz de avaliação, tal como o exemplo apresentado na Tabela 6.1.

A análise da matriz inicia-se com comparações, em geral duas a duas: comparações de acções potenciais, por exemplo, para ver se uma é preferida a outra; ou ainda comparações de classificação de acções, para ver qual está mais de acordo com a estabelecida. Após o que se tenta, numa segunda fase, operar uma síntese do que se apurou. Uma síntese que se sabe, a priori, não será perfeita (Scharlig, 1985).

Os métodos ELECTRE baseiam-se na noção de relação de preferência. Esta relação é uma relação binária definida sobre o conjunto das alternativas tal que: uma alternativa “ A ” é preferida a uma alternativa “ B ” se for possível afirmar pelo agente decisor que “ A ” é pelo menos tão boa quanto “ B ”.

Tabela 6.1 – Matriz de Avaliação

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}	...	C_{rm}
	p_1	p_2	p_3	...	p_m
a_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	...	e_{1m}
a_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	...	e_{2m}
a_3	e_{31}	e_{32}	e_{33}	...	e_{3m}
...	e_{ij}	...
a_n	e_{n1}	e_{n2}	e_{n3}	...	e_{nm}

Os argumentos que permitem esta afirmação partem de dois testes aos quais é submetida a hipótese “A” é preferida a “B”. Inicialmente, um teste de concordância, que estabelece que há uma maioria de critérios que favorecem “A”. E depois, um teste de discordância que estabelece que não há uma forte minoria em favor de “B”.

Na prática, considerando $g(A)$ a avaliação da acção ou alternativa segundo o critério “g”, as relações de preferência são determinadas conformes as possíveis relações de ordenação entre quaisquer duas acções “A” e “B”, conforme haja uma preferência forte de uma pela outra, uma preferência fraca, uma indiferença ou uma incomparabilidade entre elas, calculadas da seguinte forma:

“A” é fortemente preferida em relação à “B” se $g(A)-g(B) > p$

“A” é fracamente preferida em relação à “B” se $q < g(A)-g(B) \leq p$

“A” é indiferente em relação à “B” se $|g(A)-g(B)| \leq q$

Pode-se assim, para o par “A, B” calcular:

- o Índice de Concordância $C(A, B)$, que mede o grau de confiança para com a hipótese “A” é preferida a “B”.
- o Índice de Discordância $D(A, B)$, que mede o grau de desconfiança para com a hipótese “A” é preferida a “B”.

Estabelecem-se então duas matrizes, uma de concordância e outra de discordância, nas quais são comparados todos os possíveis pares de alternativas “A, B”. Quando devidamente combinadas, as duas matrizes derivam numa outra matriz, denominada de credibilidade, que provê uma medida quantitativa da força da assertiva “A” é preferida a “B”, ou “A” é no mínimo tão boa quanto “B”.

A ordem (ranking) das alternativas pode então ser determinada, baseada na matriz de credibilidade. A ordenação das alternativas no método ELECTRE III normalmente é realizada através de um procedimento de destilação, em que as alternativas são posicionadas segundo sua qualificação indo da melhor para a pior e depois da pior para a melhor. Desta maneira, essencialmente, duas pré-ordens Z_1 e Z_2 são construídas, respectivamente, por processos de destilação descendente e ascendente. Finalmente, a ordenação final é obtida utilizando-se os resultados das duas pré-ordens derivadas da destilação das alternativas.

A utilização de uma análise multicritério com base no algoritmo do método ELECTRE, em detrimento de uma metodologia por índices de performance, permite evitar que um parâmetro com um mau desempenho seja compensado por outro com bom desempenho e que um edifício com um mau desempenho num parâmetro ultrapasse outro edifício (Roulet e tal., 1999, Roulet et al., 2002).

Além do referido, e de acordo com Humphreys a quantificação do conforto global dos ocupantes através de um índice que combine os diferentes factores que afectam a qualidade do ambiente interior não é exequível, devido à subjectividade dos ocupantes, às diferenças culturais e do contexto e do fim da definição do índice (Humphreys, 2005).

Assim, à semelhança da quantificação do conforto global a classificação da solução alternativa não deve ser realizada através de um índice único, sendo preferível hierarquizar as soluções alternativas, indicando os critérios e os limites considerados para a sua selecção em detrimento de identificar a solução que numa dada situação foi considerada como a mais indicada.

Esta metodologia tem também a vantagem de não ser necessário homogeneizar as categorias, por estas estarem definidas em unidades diferentes.

Além disso, a hierarquização das soluções não varia de forma significativa quando os pesos atribuídos a um determinado critério ou os limites de preferência, indiferença ou veto são alterados, dentro de uma gama de valores realista, o que reduz a subjectividade da sua aplicação (Roulet et al., 1999, Roulet et al., 2002).

É, no entanto, necessário definir um conjunto de soluções alternativas, suficientemente vasto, mas não demasiado extenso, de modo a ser possível identificar a solução óptima, sem que a sua escolha seja impraticável (Diakaki, 2008).

Por exemplo a selecção de soluções construtivas deve ser um processo de decisão através do qual se comparam as várias soluções alternativas (possuidoras de características específicas) e se identificam as com melhor desempenho. A hierarquização de soluções pode ser desenvolvida de acordo com diferentes pressupostos, em função do objectivo que se pretende alcançar (redução das perdas térmicas, maximização da inércia, redução da espessura) e das respectivas variáveis associadas (coeficiente de transmissão térmica, massa espessura).

No entanto, em geral a selecção das soluções construtivas é realizada em função das preferências do cliente (dono de obra, arquitecto, etc.), de exigências técnicas associados ao cumprimento dos requisitos regulamentares (por exemplo o RCCTE e RRAE), da experiência do construtor, das características do local de implantação do edifício, não sendo em geral feita de modo a otimizar o desempenho dos edifícios face às suas características específicas e às associadas ao local de implantação (condições climáticas de sombreamento e protecção aos ventos dominantes, etc.).

A utilização de uma análise multicritério com base no algoritmo do método ELECTRE permite avaliar as soluções construtivas em função desses critérios, podendo a análise ser realizada para conjuntos de 10 alternativas, aplicadas ao edifício em estudo.

Para realizar a estudo através do método de análise multicritério com base no algoritmo do método ELECTRE III foi utilizado o programa CELECTRE (Castro, 2005).

Esta aplicação computacional permite ordenar 10 alternativas avaliadas sob 5 critérios distintos, cada um possuindo um peso individual. Uma rotina específica permite estabelecer automaticamente os valores para os limites de Concordância Estrita, Concordância Relativa e Veto, para cada um dos critérios.

O programa CELECTRE está estruturado em duas janelas, na primeira é feita a entrada dos dados da Matriz de Avaliações (Figura 6.1, à esquerda). Na segunda janela, após a execução dos cálculos inerentes ao método ELECTRE III, são mostrados os resultados da Matriz de Graus de Credibilidade, e a ordenação (ranking) das alternativas (Figura 6.1, à direita).

É também necessário introduzir os pesos (weights) relativos a cada um dos critérios, os limites de preferência (limit P), de indiferença (limit Q) e de veto (limit V) e os dados relativos a cada uma das soluções alternativa (Action 1, ..., Action 10).

As setas permitem indicar se o valor mais elevado é melhor (↑) ou pior (↓).

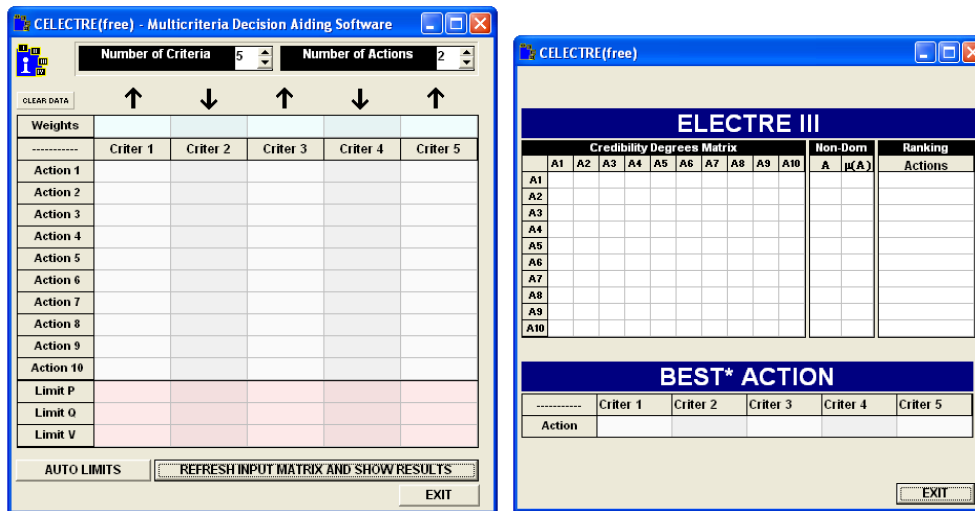


Figura 6.1 – Janela de entrada da Matriz de Avaliações e janela de Resultados do CELECTRE

Esta metodologia foi escolhida de forma a seleccionar as soluções a adoptar para melhorar o comportamento dos edifícios, considerando um conjunto de critérios relativos à Qualidade do Ambiente Interior e à sustentabilidade.

Neste trabalho, as funções objectivos, ou critérios, são representadas pela optimização da qualidade do ambiente interior, através da obtenção das condições de conforto térmico, acústico, lumínico e de qualidade do ar e em simultâneo da redução dos consumos energéticos, seleccionando opções que conduzam a um edifício sustentável, tendo por base as soluções que através de simulação e análise in situ se verificou apresentarem um bom desempenho, segundo os critérios escolhidos.

Esta análise foi realizada em duas partes, em primeiro lugar, para cada um dos factores base foram identificadas um conjunto de soluções eficiente, considerando diferentes parâmetros (forma, orientação, solução construtiva, etc. dos edifícios), identificada através de simulação e também através da avaliação in situ realizada e depois de entre as soluções podem ser seleccionadas a (ou as) solução preferida.

Ao optimizar as condições de conforto, ou seja a qualidade do ambiente interior, assegura-se a saúde e o bem-estar dos ocupantes e em simultâneo a eficiência energética do edifício e deste modo os edifícios serão mais confortáveis, sustentáveis e económicos.

A primeira parte corresponde a uma visão ambiental, associada ao conforto e saúde dos ocupantes (IEQ), mas também de sustentabilidade e de economia, através da redução dos consumos energéticos.

Ainda que o custo inicial de algumas soluções possa, em alguns casos, ser mais elevado, a redução dos consumos energético durante a fase de utilização do edifício é outro dos benefícios da selecção criteriosa das características dos diferentes parâmetros que afectam a Qualidade do Ambiente Interior do Edifício.

Em conjugação com a análise destes parâmetros pode também ser realizada a análise económica, autonomamente ou em conjunto, tendo por base o enquadramento do edifício em análise. Esta análise económica deve ser realizada tendo em consideração a vida útil do edifício e não apenas a fase de construção.

6.3 Aplicação da Análise Multicritério para Optimizar a Sustentabilidade e o Conforto das Construções

Tal como referido, existem diversos factores que influenciam o comportamento do edifício e que afectam a Qualidade do Ambiente Interior, ou seja as condições de conforto, sendo por isso necessário realizar a análise da sua influência no desempenho dos edifícios.

A optimização do desempenho dos edifícios deve ser pensada desde o início da concepção, ante-projecto, podendo depois evoluir à medida que o projecto avança. A metodologia de análise multicritério seleccionada permite essa flexibilidade, podendo ser utilizada para a comparação dos componentes do edifício item a item, ou através do seu desempenho global.

Por exemplo em relação à optimização item a item, considere-se a escolha da solução construtiva para a parede exterior. A solução construtiva da parede deve ser conjugada com a do envidraçado e depende da área relativa de uma em relação à outra e da qualidade das duas, tal como visto anteriormente. Quanto melhor for a qualidade da parte opaca melhor deve ser a qualidade do envidraçado.

A parede deve respeitar os requisitos regulamentares relativos à sua qualidade térmica (U_{max} definidos no RCCTE) e acústica ($D_{2m, nT, wT}$ definidos no RRAE), deve também conferir capacidade de armazenamento térmico e os materiais que a compõem devem ser pouco poluentes e ter uma energia incorporada baixa.

Avaliando as diversas alternativas equivalentes deve depois ser considerada, por exemplo o peso e a espessura, de modo a minimizar a carga na estrutura e a maximizar a área disponível.

Como é evidente esta escolha ainda depende da disponibilidade os materiais, da experiência do projectista que a selecciona, do construtor que a executa e do custo a ela associado.

Deste modo uma análise multicritério assim detalhada pode ser difícil de implementar, além disso a experiência do projectista já lhe permite ultrapassar a dificuldade associada à massa, espessura, disponibilidade e custo, sendo assim necessário considerar as características associadas ao comportamento térmico acústico, lumínico e à qualidade do ar interior associado a escolha das soluções.

Para optimizar a Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios é necessário considerar o comportamento higrotérmico, associado ao conforto térmico, o isolamento acústico dos elementos da envolvente para caracterizar o conforto acústico, o Factor de Luz do Dia, para avaliar o conforto lumínico, a ocupação e os sistemas mecânicos existentes de modo a prever a taxa de renovação do ar de modo a assegurar a Qualidade do Ar Interior, considerada através da percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar.

6.3.1 Selecção dos Critérios

Para optimizar o desempenho do edifício através da análise multicritério, com base no algoritmo do método ELECTRE III, foram definidas cinco categorias, associadas às quatro vertentes da qualidade ambiental de edifícios e à sustentabilidade:

- conforto térmico dos ocupantes, considerando o período de tempo em que os ocupantes estão confortáveis de acordo com a norma ASHRAE 55 (ASHRAE 55, 2004);
- conforto acústico dos ocupantes, através do isolamento acústico dos elementos , de acordo com o estipulado no RRAE (RRAE, 2008);
- conforto lumínico, através do Factor de Luz do Dia, com base nas recomendações da CIE (CIE, 1975);
- qualidade do ar interior, através da percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior (Fanger, 1988; CEN CR 1752, 1998);

- sustentabilidade do edifício através dos consumos energéticos anuais.

Portanto, estes cinco critérios serão utilizados para definir os desempenhos individuais de cada solução de projecto definida na primeira etapa. Esses critérios foram escolhidos por duas razões: inicialmente, porque entre eles encontram-se os objectivos que orientam este estudo, ou seja, interessa aqui os desempenhos directamente ligados à qualidade do ambiente interior, ou seja o conforto, e também a sustentabilidade dos edifícios; outra razão para a escolha desses critérios é que, eles estão entre os poucos que podem ser utilizados durante a fase inicial de concepção dos edifícios e estão sob a alçada do projectista.

De seguida apresentam-se a aplicação da análise multicritério para a optimização da sustentabilidade e o conforto das construções.

Para a análise dos consumos energéticos e o conforto térmico dos edifícios deve ser considerada através da simulação do comportamento higratérmico do edifício, utilizando a simulação detalhada através de programas de análise dinâmica, que permitam o cálculos dos consumos energéticos e a avaliação das condições de conforto dos ocupantes, através da consideração do número de pessoas descontentes com o ambiente térmico, EN ISO 7730 e EN ISO 12531 e o número de horas desconfortáveis de acordo com o definido na ASHRAE 55 (por exemplo usando o Comis Studio e o EnergyPlus) (ASHRAE 55, 2004; EN ISO 7730, 1994; EN ISO 12531, 2007).

Pode também, numa primeira análise e, de forma simplificadas utilizar a metodologia definida no RCCTE e estimar a percentagem de pessoas descontentes com o ambiente térmico para o dia mais frio e o dia mais quente.

Ao realizar a simulação do comportamento higratérmico de cada uma dos projectos propostos para o edifício, soluções alternativa, está-se a analisar um conjunto de factores que intervêm no desempenho do edificio, tal como referido, a área de envidraçados, o seu tipo, os sistemas de sombreamento, os materiais e soluções construtivas, a taxa de renovação de ar, etc..

Para a avaliação do comportamento acústico devem ser avaliados os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea (entre o exterior e o interior, entre fracções autónomas, entre fracções e zonas comuns de circulação, caixa de escadas e de elevador) e de percussão (entre fracções autónomas, entre fracções autónomas e zonas comerciais, etc.) (RRAE, 2008).

A avaliação do comportamento lumínico deve ser realizada através da previsão do Factor de Luz do Dia, para os diferentes compartimentos do edifício (cozinha, sala e quartos) (CIE, 1975).

Em relação à qualidade do ar interior, sendo assegurada a taxa de ventilação mínima definida pelo RCCTE, por exemplo, pode ser avaliada através da percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior, previstos em função da ocupação, da taxa de ventilação prevista pelo Comis Studio, e os materiais escolhidos (pouco poluentes e não pouco poluentes) (CEN CR 1752, 1998).

A sustentabilidade das diferentes soluções de projecto para o edifício é prevista através dos consumos energéticos de cada uma das soluções.

6.3.2 Definição dos pesos e dos limites

Não há um método consensual para a definição de pesos (Ramos, 2000).

Assim, a definição dos pesos a atribuir a cada uma das cinco características consideradas foi realizada tendo em consideração que existe um conjunto de exigências regulamentares relativas ao comportamento térmico e acústico que é necessário cumprir.

Em relação à qualidade do ar existe, para edifícios residenciais a imposição de uma taxa de ventilação de 0,6 rph, taxa que em geral é ultrapassada nos edifícios correntes.

Para o conforto lumínico existem recomendações a nível internacional que devem ser respeitadas.

As questões associadas ao conforto térmico e acústico são, em geral as mais intrinsecamente associadas ao edifício, ou seja as que são mais difíceis de melhorar a posteriori.

É possível melhorar a qualidade lumínica de um espaço através do uso de iluminação artificial, de preferência utilizando sistemas de baixo consumo (lâmpadas fluorescentes e leds) de modo a minimizar os consumos energéticos e as cargas térmicas associadas à iluminação.

Em relação à qualidade do ar interior ela está associada à ventilação dos espaços, sendo por isso mais fácil de actuar, através da existência de um manual de utilização da habitação, de modo a que os habitantes ventilem as habitações de forma mais adequada, através da inclusão de grelhas auto-reguláveis nas fachadas ou nas caixilharias, da existência de um sistema de extracção funcionando em permanência, ou pelo menos durante o período de ocupação das habitações, ou através da instalação de um sistema de ventilação, de preferência com recuperação de calor, para minimizar as cargas térmicas associadas.

No entanto alterar a orientação é impossível uma vez o edifício construído, mudar a área de envidraçados, o tipo de pavimentos e de paredes é difícil e muito oneroso.

Estes foram os factores considerados para a atribuição dos pesos a atribuir a cada uma destas características.

Além de considerar estas condições de carácter prático foram também consideradas as respostas aos inquéritos (26) relativos à análise qualitativa da sensibilidade dos ocupantes em relação às características da Qualidade Ambiental Interior efectuada. Das respostas obtidas verificou-se que, em geral o conforto térmico, a qualidade do ar e o conforto acústicos são as características da Qualidade do Ambiente Interior mais valorizadas. Os pesos atribuídos foram os seguintes:

- Conforto térmico – 30%;
- Conforto Acústico – 23%;
- Conforto Lumínico – 20%;
- Qualidade do ar interior – 27%.

Um estudo realizado em diversos edifícios de serviços e na Universidade do Minho, a cerca de 344 pessoas verificou-se que os pesos atribuídos foram de:

- Conforto térmico – 32%;
- Conforto Acústico – 19%;
- Conforto Lumínico – 25%;
- Qualidade do ar interior – 24%.

De acordo com trabalhos realizados por Frederic Rohles, James Woods, Philip Morey determinaram os pesos atribuídos aos diferentes factores que interferem em cada um destes critérios, sendo estes apresentados na Tabela 6.2, o peso atribuído a cada um dos factores ambientais foi de (Rohles et al., 1987; Alexandre, 1998):

- Conforto térmico – 30%;
- Conforto Acústico – 22%;

- Conforto Luminico – 24%;
- Qualidade do ar interior – 24%.

Estes estudos verificaram ainda que, para temperaturas no intervalo de conforto, uma variação na temperatura de 1°C, têm a mesma influência que um aumento do nível sonoro de 3,9 dB ou um aumento de 2,4 decípol (Rohles et al., 1987).

Tabela 6.2 – Pesos atribuídos aos diferentes factores que afectam a Qualidade Ambiente Interior (Rohles et al., 1987)

Factor	Peso (%)
Temperatura	15,8
Nível de iluminação	11
Tabaco	9,8
Ruído	8,7
Perturbações de ruído	8,5
Brilho de luz	7,9
Odores	7,5
Movimento	7,2
Humidade	7,1
Poeiras	6,7
Sombra	5,1

Kim et al., para a Coreia do Sul encontraram também os seguintes pesos para as categorias de conforto (Kim et al. 2005):

- Conforto térmico – 43%;
- Conforto Acústico – 23%;
- Conforto Luminico – 21%;
- Qualidade do ar interior – 13%.

Verifica-se assim que o conforto térmico é a característica da Qualidade Ambiente Interior mais valorizada, seguida do conforto acústico e da qualidade do ar. O conforto lumínico é em geral a característica menos valorizada. Esta foi então a hierarquização definida para os pesos definidos para cada uma das categorias de conforto.

O peso atribuído à sustentabilidade, definida através dos consumos energéticos anuais, foi de 20%. Este peso foi atribuído tendo em consideração que minimizar os consumos energéticos dos edifícios é um dos objectivos da implementação da EPBD e, por conseguinte do RCCTE (EPBD, 2002; RCCTE, 2006). Além disso reduzindo os consumos energéticos a sustentabilidade dos edifícios dos edifícios aumenta, uma vez que a energia consumida durante o período de utilização é menor.

Além da consideração dos pesos atribuídos a cada uma das características é também necessário definir os limites (de preferência, de indiferença e de veto). Estes limites, bem como os pesos de cada uma das categorias são apresentados na Tabela 6.3.

A escolha dos pesos e dos limites depende do decisor e pode ser alterada. Os pesos definidos na Tabela 6.3 são médias arredondadas definidas com base nos inquéritos realizados e da análise bibliográfica realizada (Alexandre, 1998; Kim et al. 2005; Roulet et al., 1999, Roulet et al., 2002):

A definição dos níveis de preferência, indiferença e de veto foi realizada tendo em consideração a experiência e da análise bibliográfica realizada (Kim et al. 2005; Roulet et al., 1999, Roulet et al., 2002):

Tabela 6.3 – Critérios definidos, limites de preferência, indiferença e de veto e pesos atribuídos às diferentes categorias

Categoria	Unidade	Limites			Peso
		Preferência	Indiferença	Veto	
Consumos energéticos anuais	kW/(m ² .ano)	50	10	100	20
Conforto térmico (percentagem de tempo confortáveis)	(%)	20	10	50	25
Conforto e isolamento acústico ($D_{2m, nT, W}$, $D_{nT, W}$ e $L'_{nT, W}$)	(dB)	5	2	10	22
Qualidade do ar interior (PPD)	(%)	5	2	15	18
Conforto lumínico (FLD)	(%)	0,5	0,2	2	15

Por exemplo em relação ao nível sonoro o ouvido humano não se apercebe de diferenças de 2 dB ou inferiores, mas 5 dB de diferença são significativas, além disso, devido à dificuldade melhorar o comportamento acústico em situações de reabilitação de edifícios estas só são realizadas se a solução a implementar conduzir a um aumento de isolamento sonoro igual ou superior a 5 dB.

Os consumos energéticos são normalizados em função da área útil de pavimento, para ser possível comparar edifícios de dimensões diferentes.

Na qualidade do ar interior, variações de 2% na percentagem de pessoas descontentes não é significativa, alterações de 5% podem alterar a classe do edifício, segundo a classificação da CEN (CEN CR 1752, 1998).

6.3.3 Aplicação do Método de Análise Multicritério às Habitação Tipo

Considerando as duas Habitações Tipo, como edifícios unifamiliares, descritas no Capítulo 3, apresenta-se de seguida um exemplo de aplicação da análise multicritério para a optimização da sustentabilidade e o conforto dos edifícios.

O cálculo dos consumos energéticos e do período confortável foi realizado considerando 4 ocupantes e que a temperatura ambiente interior é mantida no intervalo de conforto (20°C a 25°C) durante o período de ocupação (19h às 9h durante a semana e durante 24h ao fim de semana). A taxa de ventilação considerada foi de 0,98 rph, de acordo com o previsto com o Comis Studio.

Em relação ao isolamento acústico os edifícios unifamiliares isolados têm apenas que cumprir os requisitos relativos ao isolamento da parede de fachada. As paredes de fachada de todos os compartimentos cumprem os requisitos regulamentares, não sendo as diferenças significativas entre os diferentes compartimentos, assim foi considerada a situação mais desfavorável.

Foram consideradas quatro soluções alternativas, correspondendo a soluções correntes e a uma solução optimizada, três soluções correspondentes à Habitação Tipo 1 e duas soluções correspondem à Habitação Tipo 2, com diferentes soluções construtivas para os elementos da envolvente.

Para esta análise considera-se que a Habitação Tipo 1 (com 2 frentes) é construída com materiais correntes e os habitantes não são fumadores (1A), com 20% de fumadores (1B) e com materiais pouco poluentes com 20% de fumadores (1C).

Na Habitação Tipo 2, construída com materiais pouco poluentes, 20% dos moradores são fumadores (2A) e sem fumadores (2B).

O Factor de Luz do Dia (FLD) foi estimado considerando a situação corrente de utilização dos edifícios, ou seja considerando a existência de cortinas muito transparentes de cor clara, para a posição de referência em função do tipo de compartimento. O compartimento considerado foi a sala comum, que era o que apresentava o FLD mais baixo.

Na Tabela 6.4, na Figura 6.2 e na Figura 6.3 apresentam-se os dados relativos às soluções alternativas analisadas e os resultados da hierarquização dos resultados.

Tabela 6.4 – Caracterização das soluções

Habitação	Action	Críter 1 Consumos energéticos anuais (kW/m².ano)	Críter 2 Período confortável (%)	Críter 3 Isolamento Acústico $D_{2m,nr,w}$ (dB)	Críter 4 PPD com a QAI (%)	Críter 5 FLD (%)
Tipo 1A	1	53,3	40	35	20	1,2
Tipo 2A	2	41,2	35	31	15	1,5
Tipo 1B	3	23,5	48	33	22	2,0
Tipo 1C	4	32,3	45	35	15	2,0
Tipo 2B	5	55,6	60	33	13	1,5

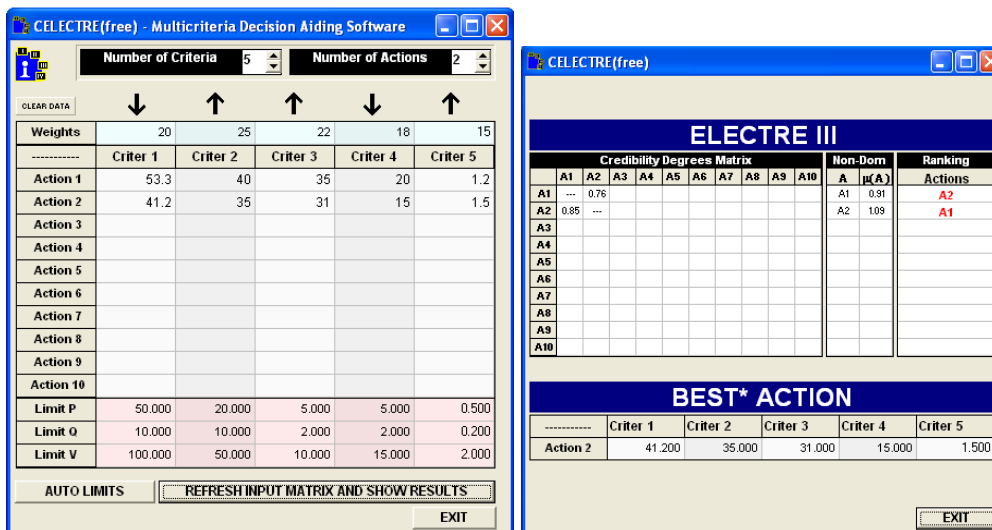


Figura 6.2 – Janela de entrada da Matriz de Avaliações e janela de Resultados do CELECTRE

Na Figura 6.2 apresentam-se os dados e os resultados relativos à análise de duas soluções alternativas, Habitação Tipo 1A e Habitação Tipo 2A. Verificou-se que a segunda alternativa, com melhor desempenho em relação aos consumos energéticos, à qualidade do ar e ao comportamento lumínico é a que apresenta melhor desempenho global.

Na Figura 6.3 apresentam-se os dados relativos à hierarquização de cinco soluções alternativas. Verifica-se que a solução alternativa relativa à Habitação Tipo 1C, com melhor desempenho acústico e lumínico, ficou pontuada em primeiro lugar, seguida da Habitação Tipo 2B, com melhor comportamento térmico e em relação à qualidade do ar, mas com os maiores consumos energéticos.

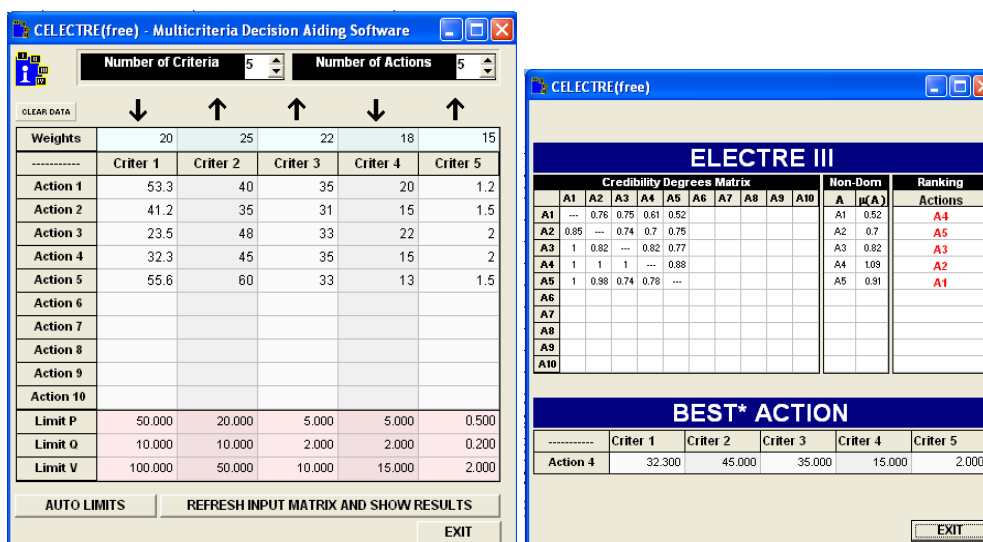


Figura 6.3 – Janela de entrada da Matriz de Avaliações e janela de Resultados do CELECTRE

É assim visível que usando esta metodologia, a conjugação dos pesos e dos limites atribuídos, não é atribuída uma prioridade a um critério só por este ter um peso mais elevado.

Esta metodologia permite, de forma simples e rápida, hierarquizar um conjunto de critérios pré-definidos, em função dos pesos e dos limites estabelecidos. A capacidade de alterar os critérios, os pesos e os limites atribuídos possibilita a sua aplicação a um grande conjunto de possibilidades.

A aplicação da metodologia pode também ser aplicada a uma situação de reabilitação, permitindo comparar várias soluções alternativas.

Com esta metodologia o projectista pode comparar desde alternativas do projecto de arquitectura tendo por base critérios, como por exemplo, a área útil disponível, a organização dos espaços, a adaptabilidade dos mesmos etc.. Pode também otimizar a escolha de soluções construtivas, com base no coeficiente de transmissão térmica, o índice de isolamento sonoro, a espessura, a massa e a energia incorporada, só para referir alguns critérios possíveis.

No tratamento do edifício na sua globalidade foram seleccionados neste trabalho as questões associadas à qualidade ambiental interior do edifício, cobrindo as quatro vertentes principais e também os consumos energéticos associado à sustentabilidade, mas podem também ser considerados factores associados ao tipo de solução estrutural, ou mesmo associado à localização do edifício em relação à envolvente (aqui apenas foi tratada a orientação e sombreamento), desde a proximidade a transportes públicos, zonas verdes, etc..

Uma vez que a optimização do comportamento térmico dos edifícios deve ser estudada caso a caso, integrando vários factores, não se pretendeu indicar uma solução tipo ou um conjunto de soluções tipo, de modo a evitar a aplicação directa da solução sem ser verificada a sua aplicabilidade ao caso em estudo.

Os critérios definidos permitem uma análise robusta do edifício, uma vez que englobam um estudo detalhado do comportamento do edifício, através de simulação numérica do seu comportamento.

A utilização da simulação aumenta o rigor da análise, mas, uma vez que grande parte dos intervenientes do processo de decisão não está familiarizado com uma análise tão detalhada e de tantas áreas, é também uma desvantagem.

No entanto o método pode ser refinado à medida que o estudo vai evoluindo, sendo realizada primeiro uma análise mais rápida, utilizando programas de simulação menos exigentes, em termos de conhecimento e de tempo necessário à definição do edifício, de forma a eliminar de forma rápida as soluções menos eficientes e depois, já com um menor número de hipótese realizar a análise com maior rigor.

Outra abordagem pode ser a utilização da metodologia definida no RCCTE para prever as necessidades energéticas das diferentes soluções alternativa.

Capítulo 7 - Conclusão

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado, em forma de síntese dos resultados obtidos, de limitações encontradas e de perspectivas de evolução futura.

O principal objectivo deste estudo era definir uma metodologia que permitisse otimizar as condições de conforto das construções e a sua sustentabilidade intervindo desde a fase inicial de projecto. Para atingir este objectivo foi avaliado o comportamento dos edifícios, através da análise in situ de alguns edifícios portugueses e também através da previsão do comportamento de edifícios através da simulação numérica.

Para otimizar o desempenho dos edifícios foram considerados os quatro principais factores que intervêm na Qualidade Ambiente Interior, as condições de conforto térmico, acústico e lumínico e a qualidade do ar interior e também os consumos energéticos dos edifícios de modo a melhorar a sua sustentabilidade.

Uma vez que existe uma multiplicidade de aspectos que afectam cada um destes factores estes foram estudados em primeiro lugar, de modo a caracteriza-los e prever de que modo estes interferem no desempenho do edifício. Mas uma vez que estes aspectos têm efeitos diferentes e contraditórios em cada um destes factores é também necessário identificar uma forma de seleccionar a solução a adoptar, ou seja aquela que apresenta o melhor comportamento global.

Para isso articulou-se a análise da Arquitectura (associada à forma, organização, orientação, área dos elementos, etc.), com a Engenharia (associada à selecção de materiais e soluções construtivas, condições de ventilação, etc.) e a Pesquisa Operacional (métodos de selecção das diferentes variáveis). Através do estudo realizado seleccionou-se um método baseado na análise multicritério de alternativas que é de fácil implementação, podendo ser aplicado a qualquer fase da análise do edifício.

Esta metodologia pode ser aplicada desde a fase inicial de projecto, avaliando as diferentes soluções alternativas, desde as soluções arquitectónicas até à análise de hipóteses relativas às soluções construtivas, sistemas mecânicos e até numa fase de reabilitação do edifício.

Foi realizado o estudo de soluções arquitectónicas e construtivas de modo a verificar o seu desempenho e identificar as melhores soluções. Para as diferentes soluções definidas foi simulado o comportamento higrotérmico, lumínico, acústico, sendo também previstos os consumos energéticos e a percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar.

O estudo desenvolvido permitiu identificar um conjunto de soluções construtivas, incluindo algumas soluções correntes usadas nos edifícios portugueses, que quando utilizadas de forma adequada, permitem otimizar a sustentabilidade e o conforto global no interior dos edifícios.

Face aos resultados obtidos verificou-se que é necessária especial atenção na definição da área de envidraçados e das suas características, na selecção do tipo de sistemas de sombreamento (sistemas fixos e móveis) e na escolha da solução construtiva para as lajes de pavimento.

O estudo permitiu também identificar os parâmetros que influenciam o comportamento dos edifícios e os critérios que podem ser utilizados para a avaliação do seu desempenho no que se refere à qualidade ambiental interior.

Verificou-se que a comparação de diferentes soluções alternativas para soluções construtivas, área de elementos envidraçados, geometria e de projecto, ou através de diferentes soluções alternativas de projecto, considerando o seu desempenho no que se refere às quatro vertentes da qualidade do ambiente interior e aos consumos energéticos é possível através da simulação computacional.

Foi também realizada uma análise multicritério que permite seleccionar, de um conjunto de soluções alternativas, a que conduz a uma maior sustentabilidade e a melhores condições de conforto global no interior dos edifícios.

A ordenação das diferentes soluções através da aplicação da metodologia de análise multicritério permite avaliar e comparar as diferentes alternativas de projecto de acordo com mais do que um critério.

Uma aplicação do método foi então realizada, considerando algumas soluções alternativas de projecto, para habitações tipo, utilizando os resultados obtidos através da simulação do comportamento térmico, acústico lumínico e da qualidade do ar interior e dos consumos energéticos.

Como limitações, à implementação de um estudo com estas características é necessário referir a quantidade de factores que estão em jogo numa análise do ponto de vista do conforto global e dos consumos energéticos da construção, que condicionam as análises. A utilização de vários programas de simulação, um deles de simulação dinâmica é outra desvantagem para a implementação deste tipo de análise.

Espera-se poder vir a continuar o estudo efectuado, no sentido de desenvolver um conjunto de soluções tipo que possam ser utilizadas como regras de boa prática de modo a permitir alcançar maior eficiência, sustentabilidade e conforto nas construções portuguesas.

7.1 Síntese dos Resultados Obtidos

No **Capítulo 1** foi efectuado o enquadramento do trabalho e foram apresentados os objectivos.

No **Capítulo 2** foi realizada a análise do estado da arte relativa ao estudo da Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios e da sua sustentabilidade.

Neste capítulo foram também apresentados os principais factores que afectam a Qualidade do Ambiente interior, em relação às condições de conforto térmico, acústico, lumínico e à qualidade do ar interior, bem como o enquadramento normativo e regulamentar.

No **Capítulo 3** foram descritos os edifícios estudados no decurso do trabalho e os programas utilizados para prever o desempenho dos edifícios.

No **Capítulo 4** foram apresentados os resultados das simulações realizadas, no que respeita a previsão dos consumos energéticos dos edifícios e das condições de conforto térmico, do número de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior, do nível de iluminação natural e do isolamento acústico dos elementos da envolvente, para diferentes áreas e tipos de envidraçados e de soluções construtivas.

A previsão do comportamento foi realizada através da caracterização das condições de conforto térmico, através do cálculo do número de horas de conforto e dos consumos energéticos de cada uma das soluções alternativas para o edifício, utilizando os programas de simulação Comis Studio e EnergyPlus, o comportamento lumínico através da previsão do Factor de Luz do Dia usando o programa DesktopRadiance, o comportamento acústico, através da previsão do isolamento acústico dos elementos construtivos usando o programa Acoubat Sound.

A previsão do desempenho dos edifícios permitiu avaliar o efeito dos diversos parâmetros da qualidade do ambiente interior no comportamento global dos edifícios.

Foi verificado quais as soluções construtivas para os elementos da envolvente e de compartimentação que cumprem os requisitos e recomendações definidos na regulamentação nacional e internacional aplicável a cada um dos parâmetros de conforto.

Este estudo permitiu verificar que existe uma grande liberdade em relação à definição de áreas e tipo de envidraçados e de soluções construtivas que permitem que os edifícios tenham um bom desempenho ao nível do conforto global e da sustentabilidade.

A área de envidraçados é um dos factores que mais influencia as condições de conforto global dos edifícios, tendo efeitos contraditórios em relação ao desempenho térmico e acústico e em relação às condições de iluminação e de qualidade do ar interior.

Não devem projectar-se edifícios com áreas de envidraçados superiores a cerca de 30% a 40% da área de parede exterior (aproximadamente 15% da área útil de pavimento, tal como o RCCTE recomenda). Valores superiores a este são penalizadores para o desempenho térmico (em especial quando orientados a Norte, Este e Oeste) e acústico.

Estes valores permitem também assegurar as condições adequadas de iluminação natural, se os sistemas de protecção solar móveis estiverem accionados a 30% e, se existirem cortinas e estas forem transparentes ou muito transparentes. No entanto, em compartimentos profundos, ou quando existem lavandarias entrepostas entre as cozinhas e o exterior as condições de iluminação natural podem ser insuficientes.

Assim, estas situações devem ser evitadas no projecto de arquitectura. Nestas condições é necessário definir um sistema de iluminação artificial localizado e dimensionado de modo a suprir as necessidades associadas à variabilidade das condições de iluminação natural, em função do tipo de compartimento e das actividades nele desenvolvidas.

A selecção de materiais e as actividades desenvolvidas no interior dos edifícios é fundamental para a qualidade do ar no interior dos edifícios, devendo dar-se preferência à utilização de produtos pouco poluentes, não devendo fumar-se no interior dos edifícios e depois de mobilados devem ser ventilados devem ser ventilados de modo a retirar a carga poluente do seu interior, em especial os poluentes que são libertados na fase inicial do seu ciclo de vida (formaldeído dos móveis, por exemplo, bem como os compostos orgânicos voláteis de tintas, vernizes, etc.).

Em relação ao desempenho higrotérmico e acústico, verificou-se que existe um grande número de soluções construtivas para envidraçados, paredes e pavimentos que, conjugados de forma adequada permitem obter um bom comportamento térmico, assegurando as condições de conforto e minimizando os consumos energéticos, e também o conforto acústico, garantindo os níveis de isolamento adequado.

As características dos envidraçados e dos sistemas de sombreamento são muito importantes para o comportamento térmico e acústico dos edifícios. Os sistemas de sombreamento devem ser móveis e ser accionados de modo a controlar a entrada da radiação solar no interior dos edifícios. A caixilharia deve ter corte térmico e as caixas de estore, se existirem devem ser isoladas.

Elementos pesados têm um efeito favorável ao nível do desempenho térmico e acústico. Existindo inércia térmica forte os elemento de compartimentação podem ser leves.

Paredes exteriores duplas de blocos de betão ou de tijolo cerâmico furado ou maciço, com isolamento térmico na caixa-de-ar, ou simples de blocos de betão com 20 cm, ou tijolo cerâmico furado de 22 cm, com isolamento pelo exterior (envidraçados com 15% da área de pavimento, 30% da área de parede) são soluções com bom desempenho térmico e acústico.

As paredes exteriores devem possuir pelo menos 5 cm de isolamento.

A solução construtiva das lajes de pavimento é mais relevante para o desempenho acústico dos edifícios. Em elementos de separação entre habitações as soluções pesadas, laje maciças e alveolares, mas também aligeiradas com abobadilha cerâmica ou de betão conferem, em geral, bom isolamento a sons de condução aérea, mas não em relação a sons de percussão. É necessário a existência de uma camada de elemento resiliente, com boas características elásticas, como por exemplo os aglomerados de cortiça, de cortiça e borracha, o poliestireno expandido e o poliestireno extrudido, com pelo menos 2 cm de espessura e uma lajeta flutuante em betão armado com 4 cm de espessura mínima.

Para melhorar o comportamento acústico dos edifícios deve-se separar as paredes dos pavimentos através de elementos resilientes, quebrando assim a propagação de sons de percussão, o que permite melhorar o isolamento a sons de condução aérea e de percussão em 1 dB, se os elementos construtivos forem pesados.

A inclusão de aberturas auto-reguláveis para ventilação pode reduzir o isolamento acústico da parede exterior em 1 a 3 dB, mas se estas forem seleccionadas de forma adequada (existem sistemas que conferem um isolamento sonoro de 30 dB a 47 dB, ou seja equivalente, ou melhores do que o dos envidraçados) não afectam negativamente o comportamento global da parede exterior.

No **Capítulo 5** foram apresentados os resultados dos ensaios realizados in situ para caracterizar as condições de conforto térmico através da medição da temperatura ambiente, da temperatura do bolbo negro, da humidade relativa e da velocidade do ar, considerando a actividade metabólica e a resistência térmica dos ocupantes.

Do estudo realizado verificou-se que sem sistemas de aquecimento os ocupantes se encontravam numa situação de sensação térmica de ligeiramente frio, no entanto devido à aclimatização e aumentando a resistência térmica da roupa é, em alguns casos possível atingir uma situação de conforto térmico. No entanto a temperatura ambiente é, em geral inferior aos 20°C definidos no RCCTE.

A humidade relativa era, em geral, da ordem dos 50%, não apresentando riscos para a saúde (desenvolvimento de fungos e bactérias), nem de condensações e degradação dos materiais.

Em relação à qualidade do ar interior verificou-se que, em geral, as concentrações de poluentes eram inferiores aos valores regulamentares, no entanto, em algumas habitações foram detectadas concentrações de dióxido de carbono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis totais e de partículas respiráveis superiores aos valores regulamentares. Em algumas habitações foi detectada a presença de monóxido de carbono, associado à poluição exterior, a processos de combustão de lareiras, esquentadores e fogões e ao fumo de tabaco.

É assim necessário utilizar os sistemas de extracção associados a fogões e verificar o funcionamento de fogões e esquentadores, bem como das lareiras e evitar que os ocupantes fumam no interior das habitações e próximo de zonas por onde seja realizada a ventilação dos espaços.

É também preciso melhorar a ventilação dos espaços, através da abertura de janelas, de forma regular ou associada aos períodos de maior libertação de contaminantes, ou introduzir aberturas auto-reguláveis nas fachadas, implementar um sistema de ventilação mecânica, com funcionamento em contínuo, ou pelo menos durante os períodos de ocupação, localizando as tomadas de ar em locais afastados das fontes de poluentes exteriores. Esta estratégia poderá melhorar a qualidade do ar ao nível de qualquer dos poluentes medidos, a menos que a qualidade do ar exterior seja pior do que a interior.

A existência de um manual de utilização do edifício, com a indicação da forma mais adequada de actuação, no que respeita à abertura de janelas e à utilização de sistemas de sombreamento móvel é uma forma de melhorar o desempenho do edifício.

Na campanha de medições foram também avaliadas as condições de iluminação natural, tendo sido medido o nível de iluminância e o Factor de Luz do Dia, tendo-se verificado que a existência de lavandarias entre a cozinha e o exterior conduz à existência de más condições de iluminação no interior destes compartimentos. Verificou-se também que os compartimentos com menores Factores de Luz do Dia são os que apresentam envidraçados nas paredes de menores dimensões e com maior profundidade.

Verificou-se também que, em geral, a existência de envidraçados na parede de menores dimensões, e dada a profundidade dos compartimentos, não conduz à existência de condições de iluminação natural adequadas, existindo cortinas interiores.

Foi também caracterizado o conforto acústico, tendo sido medido o nível sonoro no interior das diversas habitações estudadas, tendo-se verificado que os níveis sonoros no interior dos edifícios eram elevados, cerca de 50 dB, em geral mais de 10 dB acima do valor recomendado. Estes valores são devidos ao nível sonoro exterior e aos equipamentos existentes no edifício.

A avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea e de precursão realizado in situ permitiu verificar que em geral as paredes exteriores cumprem os requisitos regulamentares.

Os pavimentos com melhor comportamento eram os que possuíam uma camada de elemento resiliente com 1 cm a 2 cm e uma lajeta flutuante com pelo menos 4 cm de espessura, independentemente do elemento de suporte. Os pavimentos que cumpriam os requisitos relativos a elementos de separação entre habitações e zonas comerciais eram os que possuíam tecto falso com lã mineral.

As paredes interiores duplas, pesadas, apresentavam bom desempenho para elemento de separação entre habitações. As paredes simples de 22 e as paredes leves, não cumpriam os requisitos regulamentares.

Os ensaios realizados permitiram também verificar a influência da execução.

Neste capítulo é também apresentada a avaliação da percepção dos ocupantes das habitações no que concerne a importância relativa de cada um destes parâmetros para a qualidade do ambiente interior, tendo-se verificado que o conforto térmico, com 30%, é o parâmetro mais valorizado, seguido da qualidade do ar interior com 27% e do conforto acústico com 23%, o conforto lumínico, com 20% é o parâmetro menos valorizado.

No **Capítulo 6** apresenta-se a aplicação da análise multicritério como método de apoio à decisão. O método ELECTRE III, que permite a hierarquização das soluções em análise de modo a seleccionar a mais vantajosa para a situação em presença foi a metodologia seleccionada. Este método permite evitar que um parâmetro com mau desempenho seja compensado por outro com bom desempenho e que uma solução alternativa com um mau desempenho num parâmetro ultrapasse outra solução alternativa (entenda-se neste contexto solução alternativa como o projecto de um edifício). Esta metodologia tem também a vantagem de não ser necessário homogeneizar as categorias, por estas estarem definidas em unidades diferentes.

Além disso, a hierarquização das soluções alternativas não varia de forma significativa quando os pesos atribuídos a um determinado critério ou os limites de preferência, indiferença ou veto são alterados, dentro de uma gama de valores realista, o que reduz a subjectividade da sua aplicação. É, no entanto, necessário definir um conjunto de soluções alternativas, suficientemente vasto, mas não demasiado extenso, de modo a ser possível identificar a solução óptima, sem que a sua escolha seja impraticável.

Os consumos energéticos, para analisar a sustentabilidade do edifício, a percentagem de tempo desconfortável, para avaliar o conforto térmico, o Factor de Luz do Dia, para caracterizar as condições de

iluminação natural, a percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar interior e o índice de isolamento acústico foram os parâmetros seleccionados para hierarquizar as soluções alternativas.

Os pesos e limites atribuídos aos diferentes critérios tiveram por base a pesquisa bibliográfica e a avaliação da percepção dos ocupantes das habitações realizada.

Uma vez que a redução dos consumos energéticos e o conforto térmico é um dos objectivos do RCCTE, que o isolamento acústico é um requisito regulamentar e que as definições de projecto, tais como a área dos diferentes elementos construtivos, as soluções construtivas a adoptar, definidas em fase de projecto são essenciais para o correcto desempenho do edifício e é difícil realizar alterações ao projectado, foram os parâmetros mais valorizados.

A qualidade do ar interior pode ser conseguida através da inclusão de grelhas auto-reguláveis, que como se verificou pelo estudo efectuado não é penalizador em térmicos e acústicos (desde que adequadamente previstos e seleccionados) e a adequada ventilação dos espaços.

A qualidade da iluminação é, em geral assegurada pela qualidade do projecto de arquitectura, correcta geometria e localização, além disso as condições de luminosidade exteriores em Portugal são favoráveis à iluminação natural dos espaços e é sempre necessária a existência de um sistema de iluminação natural para colmatar as necessidades do edifício (durante a noite).

Os consumos energéticos associados ao sistema de iluminação artificial, bem como à existência de grelhas auto-reguláveis deve ser prevista e considerada na solução alternativa de projecto.

Os pesos atribuídos foram de 25% para o conforto térmico, 22% para o conforto acústico, 20% para os consumos energéticos, 18% para a qualidade do ar interior e 15% para o conforto lumínico.

A metodologia de análise multicritério seleccionada permite, de forma simples e rápida, hierarquizar um conjunto de critérios pré-definidos, em função dos pesos e dos limites estabelecidos. A capacidade de alterar os critérios, os pesos e os limites atribuídos possibilita a sua aplicação a um grande conjunto de possibilidades, por exemplo a uma situação de reabilitação.

Os critérios definidos permitem uma análise robusta do edifício, uma vez que englobam um estudo detalhado do comportamento do edifício, através de simulação numérica do seu comportamento.

A utilização da simulação aumenta o rigor da análise, mas, uma vez que grande parte dos intervenientes do processo de decisão não está familiarizado com uma análise tão detalhada e de tantas áreas, é também uma desvantagem.

No entanto o método pode ser refinado à medida que o estudo vai evoluindo, sendo realizado primeiro uma análise mais rápida, utilizando programas de simulação menos exigentes, em termos de conhecimento e de tempo necessário à definição do edifício, de forma a eliminar de forma rápida as soluções menos eficientes e depois, já com um menor número de hipótese realizar a análise com maior rigor.

Outra abordagem pode ser a utilização da metodologia definida no RCCTE para prever as necessidades energéticas das diferentes soluções alternativa.

7.2 Limitações

As principais limitações encontradas durante este estudo devem-se ao elevado número de factores que condicionam a sustentabilidade e o conforto global dos edifícios. O conhecimento, análise e controlo destes factores, que se manifestam antes, durante e depois da fase de concepção de um edifício, implica

a necessidade de um conhecimento vasto e o domínio de conhecimentos de carácter geral, e de diversas áreas que poderão condicionar o desenvolvimento mais aprofundado dos aspectos específicos.

Uma limitação do método utilizado é a necessidade de simulação do comportamento global de cada uma das soluções alternativas do edifício, uma vez que é necessário realizar uma análise multidisciplinar de diversos factores, utilizando várias ferramentas de simulação e, por exemplo no caso da previsão do isolamento acústico, a base de dados de soluções existente apesar de extensa, não cobre a generalidade das soluções existente, e a sua ampliação é não é fácil uma vez que se baseia em ensaios realizados em laboratório.

É também necessário efectuar uma análise de um número significativo de alternativas de modo a ser identificada a melhor, ou seja a que mais se aproxima da solução ideal, o que significa um grande volume de trabalho, uma vez que para cada um dos critérios é necessário realizar um estudo preliminar de área de envidraçados, selecção de soluções construtivas, etc., tal como realizado neste trabalho.

Não é assim possível definir uma espécie de catálogo de soluções, mas, seguindo as recomendações e as regras de boa prática para a optimização do comportamento dos edificios é possível desenvolver um conjunto de soluções alternativas de modo a assegurar a sustentabilidade e a qualidade do ambiente interior dos edificios.

Este trabalho foi um primeiro passo para implementar a utilização de uma análise deste tipo.

Uma vez que todos os factores estão interligados e são interdependentes, variando também com a localização, o clima, a tipologia, etc. os resultados de uma análise não podem ser extrapolados, mesmo que, por exemplo, o projecto de arquitectura seja o mesmo, a relação do edifício com a envolvente (clima, orientação, em relação aos ganhos solares e aos ventos dominantes) e com os restantes edificios e elementos de protecção e sombreamento, é assim necessário realizar um estudo caso a caso.

Dessa forma, para cada tipo de edifício e clima que se deseja estudar, é necessário executar um conjunto de simulações.

Para a utilização do EnergyPlus é também necessário conhecer em detalhe as características dos materiais e soluções construtivas, sendo necessário criar uma base de dados de materiais e soluções, que está sempre em expansão.

Podem no entanto ser utilizados outros programas, ou ser realizada uma análise mais simplificada, por exemplo usando as necessidades energéticas anuais previstas através da metodologia definida no RCCTE, ou o isolamento acústico através da lei da massa, por exemplo.

No entanto é sempre necessário um vasto conhecimento das áreas em estudo.

7.3 Objectivos Futuros

A continuação da análise de soluções construtivas e de soluções arquitectónicas para diferentes tipologias de edificios (unifamiliares isolados, geminados, em banda, multifamiliares, T0, T1, T2, T3, T4), com geometria e volumetrias diferentes, para diferentes localizações e climas de modo a verificar se há um padrão que possa conduzir à identificação de tendências.

Aplicar a metodologia a edificios existentes, de habitação, em fase de projecto e em situações de reabilitação e também em edificios de serviços no âmbito das Auditorias Periódicas de QAI no âmbito do SCE de modo.

Estudar os pesos e os limites a definir, em função das características referidas acima.

Incorporar a análise da sustentabilidade também considerando a energia incorporada nos materiais. Esta opção não foi considerada neste estudo devido à falta de dados relativos a Portugal.

A conjugação da metodologia de análise multicritério considerando também outros factores, associados à sustentabilidade, como por exemplo relacionados com o local de implantação (localização, acessibilidades, utilização do solo).