

## Anexo I - Equipamentos

Neste Anexo 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.

### I.1. Descrição dos Equipamentos Utilizados

Para a avaliação das condições ambientais no interior das habitações e para o estudo dos edifícios foram realizados ensaios para avaliação das condições térmicas, de isolamento e de conforto térmico, de Qualidade do Ar Interior (QAI), de iluminação e caracterização do ambiente acústico e avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão.

De seguida descrevem-se as principais características do equipamento utilizado para a realização destes ensaios.

#### I.1.1. Comportamento Higrotérmico, Conforto Térmico e Condições de Iluminação

Para a avaliação das características dos elementos construtivos da envolvente dos edifícios e para a avaliação das condições ambientais interiores e de conforto térmico foi necessário medir a temperatura e a humidade relativa ambiente, a velocidade do ar, interior e exterior, a temperatura superficial dos elementos construtivos.

Os equipamentos necessários para a realização deste estudo foram:

- Estação meteorológica para avaliar as condições exteriores;
- Data-logger, multiplexador e sensores de temperatura e humidade relativa, temperatura superficial, velocidade do ar e luminância, para avaliar as condições ambientes interiores;
- Estação de conforto, que permite medir a temperatura média de radiação.

#### ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

O sistema de aquisição e registo de dados da estação meteorológica utilizada é composto por um data-logger CR800 da Campbell Scientific, Inc. (Figura I.1), um sensor WXT520, da Vaisala, que mede a temperatura ambiente, humidade relativa, intensidade e direcção do vento, um piranómetro CMP3-L da Kipp & Zonen, comercializado pela Campbell Scientific Inc., possui também um painel fotovoltaico e uma bateria para alimentação do equipamento.

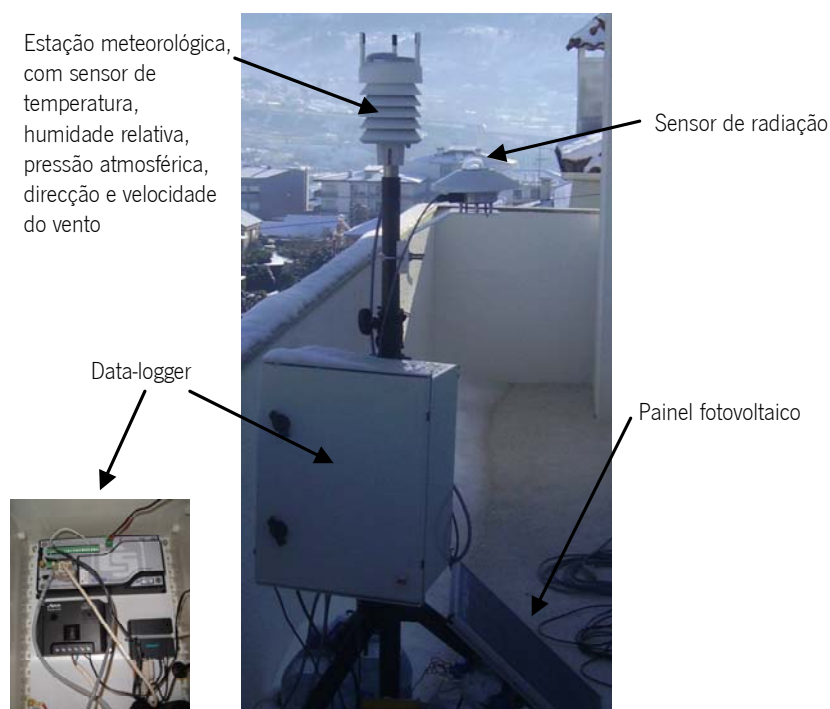


Figura I.1 – Estação meteorológica, com sensor de temperatura, humidade relativa, pressão atmosférica, direcção e velocidade do vento e radiação solar e data-logger CR800 da Campbell Scientific

### Data-logger

O data-logger CR800 da Campbell Scientific, Inc. (Figura I.2), é usado em situações em que não seja necessária a utilização de um grande número de ligações, sendo usado em medições meteorológicas de longa duração, podendo funcionar a temperaturas entre  $- 25^{\circ}$  a  $+ 50^{\circ}\text{C}$ . Pode ser usado com anemómetros, piranómetros, termistores e termopares, barómetros, sensores de humidade relativa.

O data-logger possui uma bateria interna, que permite manter o relógio em funcionamento e manter em memória o programa e os dados se for desligado da corrente.

Os valores das medições são registados em tabelas, com indicação do número de medição, data e hora. Na Tabela I.1 apresentam-se as especificações dos diferentes componentes do data-logger CR800 da Campbell Scientific, Inc..

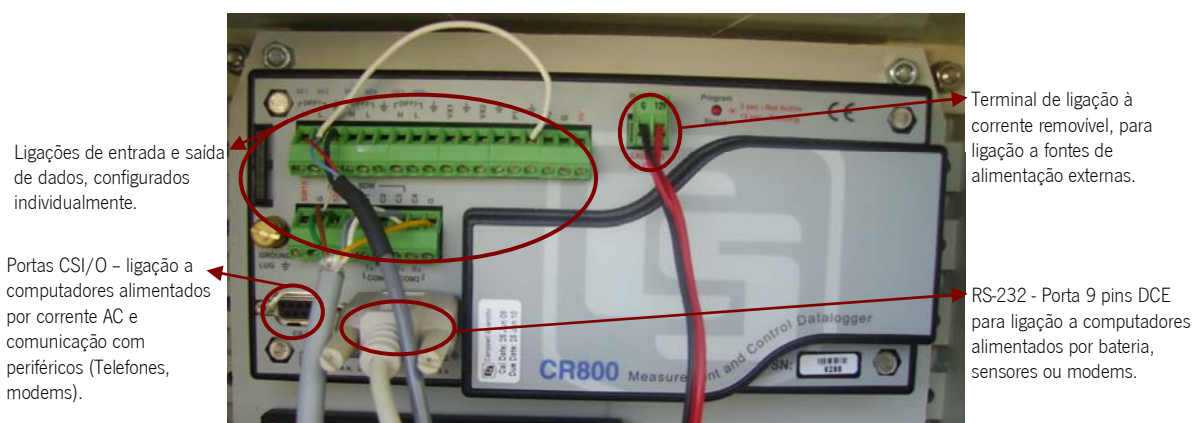


Figura I.2 – Pormenor do data-logger da estação meteorológica, com a forma de ligação dos sensores

Tabela I.1 – Especificações técnicas dos componentes do data-logger CR800 da Campbell Scientific

Armazenamento:	4 Mbytes de dados e programas em SRAM
Compatível:	PakBus®
Software de suporte:	PC400 ou ShortCut (programação)
Conversor Analógico/Digital:	13 bit
Resolução:	0,33 $\mu$ V
Taxa de varrimento:	100 Hz
Canais analógicos:	6 single-ended ou 3 diferenciais, configurados individualmente
Faixa de voltagem analógica	0 a +2500 mV
Canais de excitação:	2 Programáveis (+2.5V)
Portas de série:	CS I/O e RS-232
Porta 12 VDC:	1 (auto oscilante); 1 (continua)
Canais de Pulsos:	2
Portas de Controlo:	4
Alimentação:	9.6 a 16 Vdc; Bateria PS100 (7 Ah) ligada a um painel fotovoltaico e à corrente
Comunicação:	RS-232, RF, IP (cabo ou wireless), telefone, telemóvel (CDMA/GPRS), Satélite, Fibra Óptica
Precisão:	$\pm$ (0.06% da medição + offset), 0° a 40°C $\pm$ (0.12% da medição + offset), - 25° a 50°C $\pm$ (0.18% da medição + offset), - 55° a 85°C O sensor e o ruído da medição não são incluídos. Os offsets são os seguintes: Offset para DF w/input reversível = 1.5·Basic Res + 1.0 $\mu$ V Offset para DF w/o input reversível = 3·Basic Res + 2.0 $\mu$ V Offset para SE = 3·Basic Res + 3.0 $\mu$ V

***Sensor de temperatura ambiente, humidade relativa, velocidade e direcção do vento, precipitação e pressão***

Ao data-logger está ligada o sensor WXT520 da Vaisala (Figura I.3), que mede a velocidade e direcção do vento, precipitação, pressão barométrica, temperatura e humidade relativa.

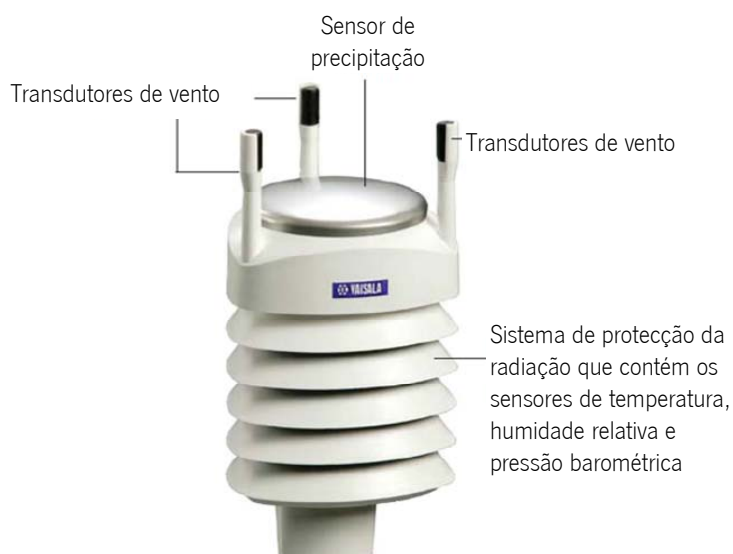


Figura I.3 – Sensor WXT520 da Vaisala

O sensor de velocidade e direcção do vento é constituído por três transdutores, igualmente espaçados que produzem um sinal ultra-sónico. A velocidade e a direcção do vento são determinadas medindo o tempo que o sinal ultras-sónico de um transdutor demora a atingir os outros.

A precipitação é medida através de um sinal eléctrico produzido cada vez que uma gota de chuva atinge o sensor de precipitação, este sinal é proporcional ao volume da gota.

O WXT520 possui um módulo PTU que contém um sensor capacitivo de silicone BAROCAP® para medir a pressão barométrica, um sensor cerâmico capacitivo THERMOCAP® para medir a temperatura e um filme polimérico fino capacitivo HUMICAP® para medir a humidade relativa.

Na Tabela I.1 apresentam-se as especificações dos diferentes componentes do sensor WXT520 da Vaisala.

Tabela I.2 – Especificações técnicas dos componentes do sensor WXT520 da Vaisala

<b>Velocidade do vento</b>	
Gama de medições:	0 a 60 m/s
Tempo de resposta:	0,25 s
Precisão:	± 0,3 m/s ou ± 3% o que for superior (0 a 35 m/s); ± 5% (36 a 60 m/s)
<b>Direcção do vento</b>	
Gama de medições:	0° a 360°
Tempo de resposta:	0,25 s
Precisão:	± 3°
Resolução:	1°
<b>Precipitação, Medição da precipitação: acumulação cumulativa depois do último reset</b>	
Área de captação:	60 cm <sup>2</sup>
Resolução:	0,01 mm
Precisão para acumulação diária:	Melhor do que 5%, dependendo do tempo
Duração de precipitação:	Contagem a cada incremento de 10 s sempre que uma gota é detectada
Intensidade de precipitação:	1 min (10 s de integração)
Intensidade de precipitação:	0 a 200 mm/h
<b>Temperatura ambiente:</b>	
Gama de medições:	- 52° a +60°C
Precisão:	± 0,3°C @ + 20°C
Resolução:	0,1°C
<b>Pressão barométrica</b>	
Gama de medições:	600 a 1100 hPa
Precisão:	± 0,5 hPa @ 0° a 30°C; ± 1 hPa @ - 52° a + 60°C
Resolução:	0,1 hPa
<b>Humidade relativa</b>	
Gama de medições:	0 a 100% Hr
Precisão:	± 3% Hr @ 0 a 90% Hr; ± 5% Hr @ 90 a 100% Hr
Resolução:	0,1% Hr
Dimensões:	23,8 cm altura e 11,5 cm de diâmetro
Peso:	650 g
Corrente:	5 a 30 Vdc
Velocidade de descarga @ 12 Vdc:	0,1 mA (repouso) e 3 mA (medição)
Temperatura de funcionamento:	- 52° a + 60°C; 0 a 100% Hr
Temperatura de armazenamento:	- 60° a + 70°C

**Piranómetro – Sensor de Radiação Solar**

O sensor de energia solar associado à estação meteorológica é o sensor CMP3-L, Solar Radiation Sensor, da Kipp & Zonen, comercializado pela Campbell Scientific Inc., representado na Figura I.4, onde são visíveis os parafusos de fixação e de nivelamento, bem como o elemento de suporte.



Figura I.4 – Sensor CMP3-L da Kipp & Zonen

O sensor CMP3-L é um piranómetro de classe 2, de acordo com a **ISO 9060**, que mede a radiação solar através de uma pilha termoelétrica enegrecida, protegida por uma cúpula (**ISO 9060, 1990**). A pilha termoelétrica enegrecida proporciona uma resposta espectral uniforme para todo o espectro solar, permitindo a utilização deste sensor para a realização de medições de iluminação artificial e natural, sob folhagem, céu enublado e para radiação reflectida (colocado em posição invertida).

O sensor produz um sinal eléctrico (mV) medido pelo data-logger CR800 da Campbell Scientific Inc..

Na Tabela I.1 apresentam-se as especificações do piranómetro CMP3-L da Kipp & Zonen.

Tabela I.3 – Especificações técnicas do piranómetro CMP3-L da Kipp & Zonen

Gama de medições	310 a 2800 nm
Irradiância máxima:	2000 W/m <sup>2</sup>
Sensibilidade:	5 a 20 µV/W/m <sup>2</sup>
Temperatura de funcionamento:	- 40° a + 80°C
Dependência da temperatura:	± 5% (- 10° a + 40°C)
Não linearidade (0 a 1000 W/m <sup>2</sup> ):	< ± 2.5%
Inclinação da resposta (± 80°):	< ± 2% a 1000 W/m <sup>2</sup>
Dimensões:	7,9 cm largura; 9,7 cm de altura; cúpula com 3,2 cm de diâmetro
Peso:	600 g
Classificação ISO:	2ª classe

**DATA-LOGGER, MULTIPLEXADOR E SENSORES PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS INTERIORES**

O sistema de aquisição e registo de dados das condições interiores é constituído por um data-logger CR10X da Campbell Scientific, Inc., multiplexadores do tipo AM16/32A da Campbell Scientific, Inc., um anemómetro de fio quente “DNE501, DNE506”, da LSI, SpA., fluxímetros HFP01 da Hukseflux, termopares de tipo T, um piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen, luxímetros HD 2021T da Delta Ohm e luminancímetros HD 2021T.6 da Delta Ohm e um sensor de temperatura e humidade relativa.

O data-logger CR10X da Campbell Scientific, Inc., constituído por um módulo de controlo e de medida e um painel de ligação destacável, podendo funcionar a temperaturas entre - 25°C e + 50°C.

O CR10X é um sistema de controlo e medida que permite realizar medições rigorosas e fiáveis em diversas aplicações.

O módulo de controlo e medição regista os dados obtidos pelos sensores, faz a comunicação ou telecomunicação directa, trata os dados, controla os dispositivos exteriores e armazena os dados e o programa numa memória interna não volátil.

Com o CR10X podem ser medidas diversas variáveis, tais como a velocidade e direcção do vento, temperatura ambiente, humidade relativa, precipitação, pressão barométrica, radiação solar, com velocidades de registo, de 1/16 segundos a 2,5 horas.

Pode também controlar piranómetros, termistores, termopares, higrómetros e sensores de QAI, etc., podem também ser ligados multiplexadores, expandindo o número de canais de medição.

Os dados podem ser registados em bruto, ou tratados, podendo determinar os valores máximo e mínimo, a média, histogramas. A transferência de dados pode ser depois realizada por um computador.

O painel de ligação do CR10X (Figura I.5) inclui terminais com parafusos para ligar os sensores e uma entrada CS I/O de 9 pinos

Os sistemas electrónicos são protegidos e isolados por um contentor selado de aço inox. Um relógio alimentado por uma bateria interna mantém a hora certa. O módulo possibilita a consulta e comunicação em simultâneo com as medições.

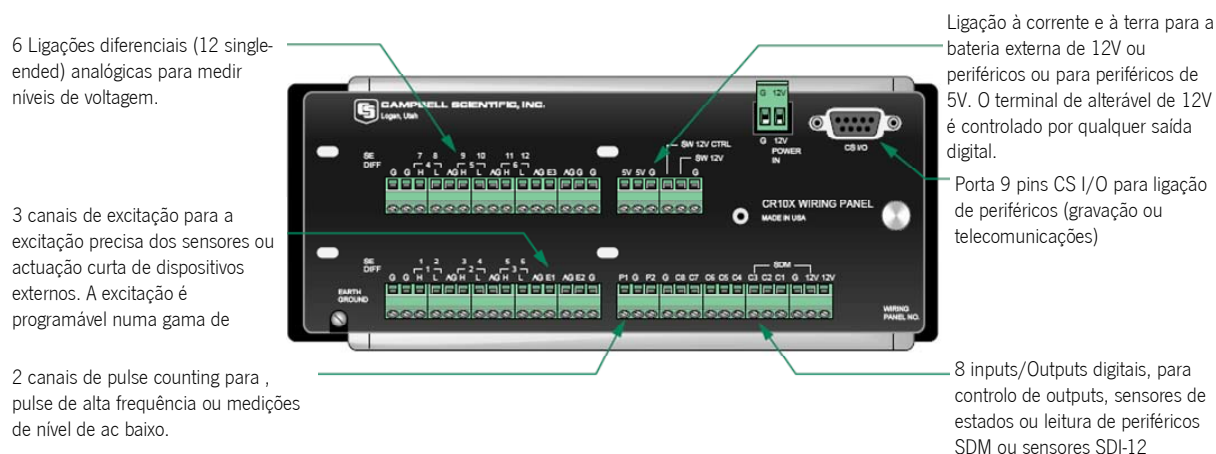


Figura I.5 – Painel de ligação do CR10X AM16/32A da Campbell Scientific, Inc.

O CR10X possui um conjunto compreensivo e rigoroso de procedimentos e instruções de controlo do programa para criar um programa de registo.

O CR10X pode executar o programa, no máximo, 64 vezes por segundo (a velocidade máxima a que um dado de entrada pode ser medido é de 750 registos por segundo. Os dados e o programa são gravados numa memória flash, não volátil, ou SRAM com bateria, podendo ser armazenados até 62000 dados (3 meses de registos horários).

O sistema operativo do CR10X inclui tabelas para armazenamento dos dados, sendo o registo dos dados realizado a intervalos específicos ou quando as condições de medição forem atingidas. Existem duas áreas de armazenamento dos dados.

Através dos softwares PC400W ou PC200W permite programar, enviar o programa, recolher e visualizar os dados do CR10X através de uma ligação directa, através da interface SC32B ou SC-USB. Através do computador é possível acertar o relógio, aceder aos dados em tempo real e transferir programas e dados. O programa é sincronizado em tempo real até 64 Hz. Um canal pode ser medido a este ritmo com transferência ininterrupta de dados. Em intervalos curtos podem se realizadas medições até 750 Hz.

Na Tabela I.4 apresentam-se as especificações do CR10X.

A velocidade de amostragem dos dados (input sample rate), inclui o tempo de medição e de conversão de unidades, pode variar entre 0,25 e 2,73 ms. As medições diferenciais incorporam duas integrações com polaridade inversa para diminuir alterações devido à temperatura e erros mais frequentes.

Tabela I.4 – Especificações técnicas do CR10X AM16/32A da Campbell Scientific, Inc.

Número de canais:	6 Diferenciais ou 12 single-ended, configurados individualmente		
Expansão de canais:	Multiplexadores Relay AM16/32 ou AM416 e Multiplexadores Termopares AM25T		
Precisão:	±0.1% of FSR (-25° to 50°C); ±0.05% of FSR (0° to 40°C); p.e., ±0.1% FSR = ±5.0 mV for ±2500 mV range		
Resolução:	Escala completa	Resolução(μV)	
	Input Range (mV)	Diferencial	Single-Ended
	±2500	333	666
	±250	33.3	66.6
	±25	3.33	6.66
	±7.5	1.00	2.00
	±2.5	0.33	0.66
Baud rates:	300, 1200, 9600 ou 76,800		
Precisão do relógio:	±1 minuto por mês		
Voltagem:	9,6 a 16 Vdc		
Descarregamento típico:	1,3 mA em repouso, 13 mA em funcionamento, e 46 mA durante medições analógicas.		
Baterias:	12 V (a bateria interna tem 270 mAh)		
Dimensões:	20 cm x 9 cm x 4 cm		
Peso:	0,91 kg		
Temperatura de operação:	-25° a +50°C		
Capacidade:	Até 16 kbytes para programas activos; 16 kBytes para programas alternativos; sistema operativo gravado em 128 kBytes de memória flash. Gravação de dados em 128 kbytes SRAM (cerca de 60000 dados)		

Para aumentar o número de sensores ligados ao CR10X foram utilizados dois multiplexadores do tipo AM16/32A da Campbell Scientific, Inc. (Figura I.6). O multiplexador é posicionado entre os sensores, ligados aos diferentes canais, e o data-logger, através de uma ligação comum.



Figura I.6 – Multiplexador AM16/32A da Campbell Scientific, Inc.

O multiplexador pode ser usado para ligações single-ended (2x32 canais, 32 sensores) ou double-ended (4x16 canais, 16 sensores), seleccionando a opção pretendida (comutador vermelho, Figura I.6).

O programa de ligação e registo dos sensores é criado em função do tipo de ligação e sensores seleccionados.

O multiplexador está inserido num caixa de alumínio anodizado com 10.2 cm x 23.9 cm x 4.6 cm, de modo a reduzir os gradientes de temperatura ao longo da faixa de terminais.

Todas as ligações são realizadas no painel frontal. O conjunto de quatro terminais, situados junto ao comutador de ligação, destina à ligação do multiplexador ao data-logger e à corrente. As quatro ligações “ODD” e “EVEN “COM”, à direita, conduzem os sinais dos sensores multiplexados isolados destinados às entradas analógicas do data-logger. Os restantes terminais destinam-se à ligação do sinal e do neutro dos sensores.

Os cabos dos sensores que é possível utilizar são de chumbo estanhado até 16 AWG ou 16 mm de diâmetro. A ligação entre o multiplexador e o data-logger deve ser realizada através de seis, até nove fios isolados e protegidos individualmente.

Na Tabela I.5 apresentam-se as especificações do multiplexador AM16/32A da Campbell Scientific, Inc..

Tabela I.5 – Especificações técnicas do multiplexador AM16/32A da Campbell Scientific, Inc.

Corrente:	12 VDC, não alteráveis
Voltagem mínima de funcionamento:	de - 55°C a + 40°C - 11,3 VDC; de + 40°C a + 85°C - 11,8 VDC
Descarregamento:	Repouso: < 210 $\mu$ A Activo: 6 mA em modo “2 x 32” 11 mA em modo “4 x 16”
Reposição:	Um sinal contínuo entre 3,5 VDC e 16 VDC mantém o AM16/32A em estado activo (onde uma pulsação do relógio pode accionar um avanço de canal) Um sinal contínuo < 0,9VDC desactiva o AM16/32A (onde uma pulsação do relógio não acciona um avanço de canal; o AM16/32A é repostado).
Temperatura de funcionamento:	Padrão: - 25°C a + 50°C Estendida: - 55°C a + 85°C
Humidade relativa de funcionamento:	0 a 95%, sem condensação
Dimensões:	Comprimento - 23,9 cm Largura - 10,2 cm Profundidade - 4,6 cm
Peso:	693 g.
Expansibilidade (nominal):	4 AM16/32As por CR10(X

De seguida descrevem-se os sensores usados em conjunto com o CR10X.

### *Anemómetro*

O anemómetro utilizado é um anemómetro de fio quente, “DNE501, DNE506”, da LSI, SpA, sendo o sinal de saída do tipo analógico (Figura I.7).





Figura I.7 – Anemômetro de fio quente da LSI, SpA

Na Tabela I.6 apresentam-se as especificações do anemômetro de fio quente da LSI, SpA.

Tabela I.6 – Especificações técnicas do anemômetro de fio quente da LSI, SpA

Código	DNE501	DNE506	BSV111
Normas	ISO7726 - CE		
Elemento sensível	Fio de tungstênio com 9,45 micrones de diâmetro		
Temperatura do fio	Temperatura ambiente + 120°C		
Gama de medição	0 a 5 m/s programável	0 a 20m/s programável	0 a 20 m/s programável
Outputs:	0 a 20 mA, 4 a 20 mA, 0 a 300 mV, 60 a 300 mV, 0 a 5 V, 1 a 5 V		60 a 300 mV
Precisão (+10 a +30°C):	± 0,05m/s - 0 a 0,5m/s ± 0,1m/s - 0,5 a 1,5m/s 4% - 1,5 a 20m/s		4%
Temperatura de derivação:	0,3% /°C (Ver Equação (I.1))		
Limiar:	0,01 m/s		
Limites ambientais:	0 a 98% de humidade relativa (sem condensação) - 30°C a 120°C (fio quente) - 30°C a 70°C (quadro eléctrico)		
Alimentação	24 V≈	12 V=	8 a 15 V=
Consumo:	3VA	3VA	250 mA
Ligação eléctrica:	Conector macho de 7 pines		minidin fêmea de 7 pines
Consumo:	máximo 1.5VA	máximo 100mA	
Dimensões:	125 mm x (80 mm + 300 ± 5 mm) x 59 mm		
Peso:	740 g		
Cabo de ligação	6 fios + neutro		

O fio quente é um sensor de fluxo de massa, por isso os valores medidos devem ser corrigidos usando a temperatura do ar e a pressão atmosférica, usando a Equação (I.1).

$$V_{ef} = \frac{T_{amb} + 273}{20 + 273} \times \frac{1000}{P_{amb}} \times V_{med} \quad (I.1)$$

onde:

$V_{ef}$  - valor correcto (m/s)

$V_{med}$  - valor medido (m/s)

$T_{amb}$  - temperatura ambiente (°C)

$P_{amb}$  - pressão atmosférica do local (hPa).

Esta correcção é importante em locais onde a pressão é muito diferente de 1000 hPa, ou seja onde a altitude é superior a 1000 m (acima do nível do mar) onde a pressão é de cerca de 900hPa, sem esta correcção o erro da medição é de 10%.

### Fluxímetro

Os fluxímetros utilizados foram o HFP01 (Figura I.8) – sensor de fluxo de calor (fluxímetro) da Hukseflux, que mede o fluxo de calor que atravessa o elemento onde está instalado, podendo ser usado no solo e em paredes. A resistência térmica total do sensor é pequena devido ao material constituinte do corpo da placa do sensor, um composto de material cerâmico e de plástico.

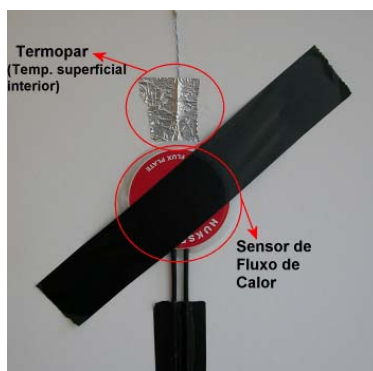


Figura I.8 – Sensor de fluxo de calor HFP01 da Hukseflux

O sensor existente no fluxímetro HFP01 é um termopar. Este termopar mede o diferencial de temperatura através do corpo em material compósito. Funcionando de forma passiva, o HFP01 gera um output com uma voltagem proporcional ao fluxo de calor no local onde está instalado.

Para calcular o fluxo de calor divide-se o fluxo de calor medido pela sensibilidade do sensor.

O HFP01 pode ser usado para calcular a resistência térmica e a transmitância térmica de um elemento construtivo de acordo com as normas ISO 9869, ASTM C1046 e ASTM 1155.

Na Tabela I.7 apresentam-se as especificações do fluxímetro HFP01 da Hukseflux.

Tabela I.7 – Especificações técnicas do fluxímetro HFP01 da Hukseflux

Sensibilidade (nominal):	50 $\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^2$
Temperatura de funcionamento:	- 30 a +70°C
Resistência térmica do sensor:	< 6.25 $10^{-3}\text{ Km}^2/\text{W}$
Gama de medição:	+2000 a -2000 $\text{W}\cdot\text{m}^2$
Precisão:	entre +5/-5 % em paredes
Dimensões:	80 mm x 5 mm (cabo com 5 m de comprimento)

### Termopares

Para a medição da temperatura superficial dos elementos construtivos foram utilizados termopares de tipo T.

Os termopares de tipo T são constituídos por um fio de cobre (+) e um fio de cobre-níquel, também designado por constantan (-). Os termopares de tipo T podem ser utilizados para medir temperaturas entre  $-200^{\circ}\text{C}$  e  $350^{\circ}\text{C}$ .

Na Tabela I.8 apresentam-se os limites de erro para termopares do tipo T, de acordo com a norma ASTM E-230 (com junção de referência a  $0^{\circ}\text{C}$ ).

Tabela I.8 – Especificações técnicas dos termopares tipo T

Sensor	Faixa de Utilização ( $^{\circ}\text{C}$ )	Limite de Erro (Escolher o maior)	
		Padrão	Especial
T	0 - 370 -200 a 30	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ ou 0,75% $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ou 1,5%	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ou 0,4% -

### Piranómetro

As medições da radiação solar no exterior foram realizadas com piranómetros SP-Lite da Kipp&Zonen, comercializados pela Campbell Scientific, Inc. (Figura I.9). Estes sensores medem a radiação solar recebida de todo o hemisfério com um detector fotodiodo. O output do fotodiodo é uma corrente, que é convertida numa voltagem, proporcional à radiação solar incidente, por um resistor shunt interno. Os resultados obtidos são expressos em  $\text{W}/\text{m}^2$ .

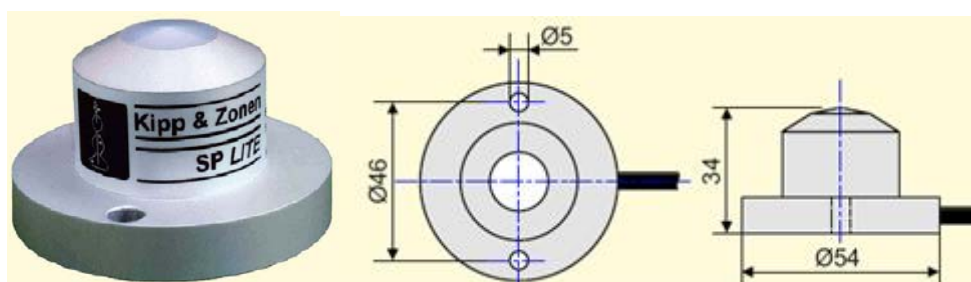


Figura I.9 – Piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen (dimensões em mm, comprimento do cabo – 5 m)

Estes sensores podem ser utilizados para medição da radiação solar e não devem ser usados para medir iluminação artificial.

As propriedades espectrais do sensor são determinadas pela resposta espectral do fotodiodo e devido às suas características a sua sensibilidade é proporcional ao co-seno do ângulo de incidência da radiação (Figura I.10).

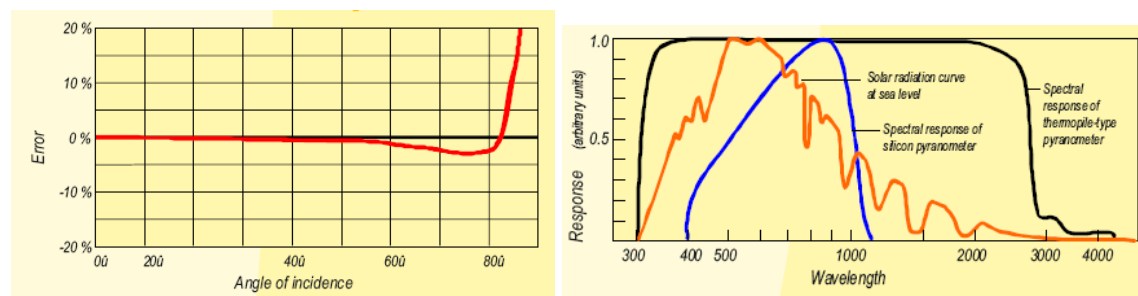


Figura I.10 – Resposta direccional e espectral do piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen

Na Tabela I.9 apresentam-se as especificações do piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen.

Tabela I.9 – Especificações técnicas do piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen

<b>Eléctricas</b>	
Impedância nominal	< 50 $\Omega$
Tempo de resposta:	< 1 s
Sensibilidade (nominal):	10 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Gama do sinal esperada (sob condições atmosféricas):	0 a 15 mV
Estabilidade:	< $\pm$ 2% por ano
Não-linearidade:	< $\pm$ 1% até 1000 $\text{W}/\text{m}^2$
Dependência da temperatura da sensibilidade:	+0.15 %/°C (típico)
Irradiância máxima:	2000 $\text{W}/\text{m}^2$
<b>Ambiental</b>	
Temperatura de funcionamento:	- 30 °C a +70 °C
<b>Espectral</b>	
Gama espectral:	400 – 1100 nm
Co-seno corrigido entre 80° do ângulo de incidência, erro:	$\pm$ 10%
Erros do co-seno ponderados em relação ao erro de azimute oposto (com um ângulo de incidência de 60°):	$\pm$ 10%
Erro direccional:	$\pm$ 5 % a 80 °C
<b>Mecânico</b>	
Material do invólucro:	Alumínio anodizado
Material do cabo:	poliuretano
Peso:	110 g
Comprimento do cabo:	5 m
Dimensões:	$\phi$ 80 mm, 47 mm altura total

## Luxímetros

No interior foram utilizados luxímetros HD 2021T da Delta Ohm para avaliar as condições de iluminação (Figura I.11).



Figura I.11 – Luxímetro HD 2021T da Delta Ohm

Os transmissores HD 2021T.1 realizam a transformação das dimensões fotométricas e radiométricas como a iluminância (Lux) sobre as zonas espectrais UV, UVA, UVB, UVC na banda de 400 nm a 950 nm, num sinal de tensão de 0 a 10 V.

Os transmissores da serie HD 2021T.1 usam filtros e fotodiodos especialmente desenhados que permitem adaptar a sua resposta espectral nas zonas de interesse.

Na Tabela I.10 apresentam-se as especificações do luxímetro HD 2021T da Delta Ohm.

Tabela I.10 – Especificações técnicas do luxímetro HD 2021T da Delta Ohm

	HD2021T.1
Sensor	Fotodiodo Si
Gama espectral	450 a 950 nm
Ângulo de visão:	Corrigida de acordo com a lei do co-seno
Sensibilidade:	1-100 mV/(mV/m <sup>2</sup> )
Sinal de saída:	0 a 10 V
Corrente eléctrica:	16 a 40 Vdc ou 24 Vac, saída 0 a 10 V
Carregamento:	10 mA
Temperatura de funcionamento:	- 20°C a + 60 °C
Protecção eléctrica:	Protegido contra inversões de polaridade
Dimensões máximas:	58 mm x 65 mm x 52 mm
Comprimento máximo do cabo:	150 m

### *Luminancímetros*

Os luminancímetros utilizados foram os luminancímetros HD 2021T.6 da Delta Ohm (Figura I.12).

Os transmissores HD 2021T.6 realizam a conversão de uma quantidade fotométrica, como a luminância (cd/m<sup>2</sup>) numa corrente (4 a 20 mA) ou tensão (0 a 10 V).

O luminancímetro foi utilizado para calcular a iluminância de acordo com a norma CIE 88:2004. e a luminância.

Os transmissores da serie HD 2021T.6 usam filtros e fotodiodos especialmente desenhados que permitem adaptar a sua resposta espectral nas zonas de interesse.



Figura I.12 – Luminancímetro HD 2021T.6 da Delta Ohm

O sensor está equipado com um fotodiodo em silicone e com um conjunto de filtros de modo a igualar a curva de resposta espectral com a do olho humano (resposta fotópica). A Figura I.13 mostra a resposta espectral relativa em função do comprimento de onda.

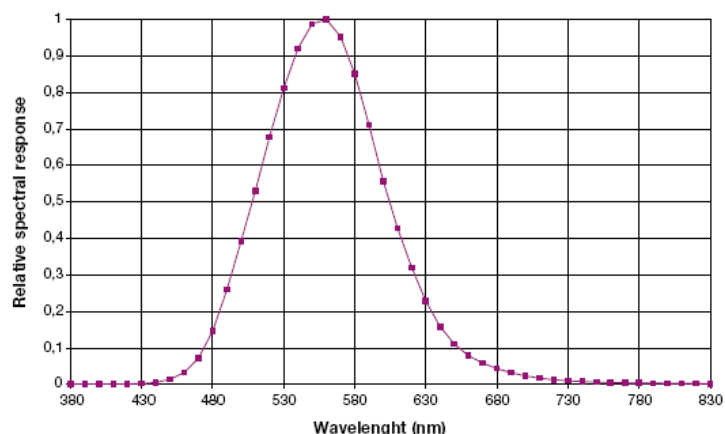


Figura I.13 – Resposta espectral relativa do luminâncímetro HD 2021T.6 da Delta Ohm

Na Tabela I.11 apresentam-se as especificações do luminâncímetro HD 2021T.6 da Delta Ohm.

Tabela I.11 – Especificações técnicas do luminâncímetro HD 2021T.6 da Delta Ohm

	HD2021T.6
Sensor:	Fotodiodo em Silício
Gama espectral:	Curve V( $\lambda$ )
Ângulo de visão:	20° de acordo com CIE 88/90
Sensibilidade:	0.5-50 mV/(cd/m <sup>2</sup> )
Sinal de saída:	0 a 10 V
Corrente eléctrica:	16 a 40 Vdc ou 24 Vac, saída 0 a 10 V
Poder de absorção:	10 mA
Temperatura de funcionamento:	- 20°C a + 60 °C
Protecção eléctrica:	Protegido contra inversões de polaridade
Dimensões máximas:	58 mm x 65 mm x 145 mm
Comprimento máximo do cabo:	150 m

Na Figura I.14 mostra-se a utilização do CR10X em conjunto com sensores de temperatura e humidade relativa, sensor de fluxo de calor, anemómetro, luxímetro e termopar.



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)

## CONFORTO

Para a avaliação da situação de conforto térmico nos edifícios foi utilizada o equipamento HD32.1 Thermal Microclimate, produzido pela Delta Ohm, que permite estudar, medir e controlar o Microclima em edifícios, de acordo com as seguintes normas:

- EN ISO 7726: Ergonomia em ambientes térmicos - Instrumento para medição de grandezas físicas;
- EN ISO 7730: Ambientes térmicos moderados - Determinação do PMV e PPD índices e especificações da condição de conforto térmico;
- EN ISO 27243: Ambientes quentes. Estimativa de stress ao homem por influência do calor, baseado no índice WBGT (Wet bulb Globe temperature / Temperatura do bolbo húmido);
- EN ISO 7933: Ergonomia em ambientes térmicos - Determinação analítica e interpretação do stress por aquecimento usando cálculo para prever a tensão térmica;
- ENV ISO 11079: Avaliação de ambientes frios - Determinação de isolamento da roupa requerida (IREQ);
- EN ISO 8996: Ergonomia em ambientes térmicos - Determinação da actividade metabólica.

O Kit básico HD32.1: aparelho HD32.1 (Figura I.15 e Figura I.16) é composto de, programa operacional “A”: Análise de Microclima, quatro pilhas alcalinas de 1.5V tamanho C, manual de instruções e o software DeltaLog10 Básico Ambientes moderados (para sistema operacional Windows 98 a Windows XP).



Figura I.15 – Estação de conforto

O HD32.1 Thermal Microclimate foi estudado para a análise do microclima nos ambientes de trabalho. Com este instrumento é possível obter os parâmetros necessários para verificar se um determinado ambiente de trabalho é adequado à realização de determinada actividade.

O equipamento é dotado de oito entradas para sondas com módulo SICRAM. As sondas dispõem de um circuito electrónico que se comunica com o equipamento, na sua memória permanente são conservados os dados de calibração do sensor.

Todas as sondas SICRAM, podem ser inseridas em qualquer uma das entradas, sendo reconhecidas automaticamente no momento de ligação do equipamento. A sonda a ventoinha para a medição da velocidade do ar, completa com módulo SICRAM, deve ser conectada exclusivamente na entrada n.º 8.

No interior do equipamento é presente um sensor de pressão atmosférica. A pressão atmosférica é visualizada apenas com o programa operativo Análises Microclimáticas.

O instrumento pode ser programado para efectuar a aquisição (logging) de uma sessão de medidas e, para cada sessão, em particular, pode ser configurado o intervalo de aquisição das amostras.

Usando a função auto-start é possível activar a configuração da data e da hora de início e do fim da análise, o início e o paragem automático da sessão de aquisição de dados, sendo o intervalo de aquisição configurado é válido para todas as sondas conectadas ao equipamento.

Outros parâmetros que podem ser escolhidos/configurados pelo utilizador são:

- A unidade de medição das grandezas de temperatura visualizadas: °C, °F, K;
- A data e a hora do sistema;
- A visualização dos parâmetros estatísticos máximo, mínimo, média e o seu cancelamento;
- A velocidade de transferência dos dados através da porta serie RS232;
- A configuração da palavra passe de protecção do teclado e a activação/desactivação da palavra passe.





Figura I.16 – Pormenor do módulo de controlo, HD32.1, da estação de conforto

Os programas operativos são:

- programa A: HD32.1 Análises Microclimáticas;
- programa B: HD32.1 Análises de desconforto;
- programa C: HD32.1 Grandezas físicas.

Os sensores utilizados para HD32.1 Programa A, Análise de Microclima, são os seguintes:

- TP3275 - Sensor de temperatura de globo Ø 150 mm. Sonda de temperatura tipo bolbo, sensor Pt100, globo Ø150 mm, haste Ø 14 mm e 110 mm de comprimento. Cabo com 2 m de comprimento. Equipada com módulo SICRAM. Usada para medição da temperatura média radiante, WBGT.
- AP3203 Sensor omnidireccional de fio quente. Faixa de medição: Velocidade do ar de 0 a 5 m/s, temperatura de 0 a 100°C. Haste Ø 14 mm e 110 mm de comprimento. Cabo com 2 m de comprimento. Equipado com módulo SICRAM. Usada para cálculo dos seguintes índices: PMV e PPD. Usada para cálculo da temperatura média radiante.
- HP3217 Sensor combinado de temperatura e humidade relativa. Sensor de humidade relativa capacitivo, sensor de temperatura Pt100. Haste Ø 14 mm e 110 mm de comprimento. Cabo com 2 m de comprimento. Equipada com módulo SICRAM. Usada para cálculo dos seguintes índices: PMV e PPD.
- HP3217DM Duplo sensor para medição de temperatura de bolbo seco e bolbo húmido natural. Haste Ø 14 mm e 110 mm de comprimento. Cabo com 2 m de comprimento. Equipada com duplo modulo SICRAM, guarnição e 50cc de água destilada

Acessórios:

VTRAP32: Tripé equipado com 6 entradas e 4 presilhas para sensor código HD3218K

9CPRS232: Conector para conexão 9 pólos Sub D fêmea RS232C.

CP22: Cabo USB 2.0 conexão tipo A – conexão tipo B.

BAG32: Mala para transporte do HD32 e acessórios.

SWD10: Fonte de alimentação estabilizada 100-240Vac/12Vdc-1A

HD3218K: Haste

AM32: Haste com 2 presilhas para 2 sensores

AQC: 200cc. Água destilada e 3 guarnições para sensores HP3201 ou HP3217DM

O laboratório da Delta Ohm está certificado pelo SIT em Temperatura, Humidade, Pressão, Fotometria/Radiometria, Acústica e Velocidade do ar.

Em conjugação com o software: Ambientes moderados e como sondas específicas, o equipamento pode realizar as seguintes medições:

O programa operativo A: Análises Microclimáticas, HD32.1 é capaz de obter simultaneamente as seguintes grandezas:

- Temperatura do bolbo negro;
- Temperatura do bolbo húmido de ventilação natural;
- Temperatura ambiente;
- Pressão atmosférica;
- Humidade relativa;
- Velocidade do ar.

De acordo com a medição o HD32.1, em conjunto com o software, calcula os seguintes parâmetros:

- $t_r$ : Temperatura média radiante
- PMV: Voto médio previsto
- PPD: Percentagem de pessoas descontentes
- $t_o$ : Temperatura operativa
- $t_{eq}$ : Temperatura equivalente
- $WBGT_{Indoor}$ : Temperatura de globo bolbo húmido
- $WBGT_{Outdoor}$ : Temperatura de globo bolbo húmido na presença de radiação

WBGT (Wet Bulb Globe Temperature): temperatura a bolbo húmido e do bolbo negro; é um dos índices utilizados para a determinação do stress térmico ao qual é sujeito um indivíduo num ambiente quente. Representa o valor, em relação ao consumo do metabolismo associado a uma particular actividade de trabalho, que uma vez superado leva o indivíduo a uma situação de stress térmico. O índice WBGT

combina a medição da temperatura do bolbo húmido a ventilação natural,  $t_{nw}$ , com a temperatura do bolbo negro,  $t_g$ , e, em algumas situações, com a temperatura ambiente,  $t_a$ .

A fórmula para o cálculo é a seguinte:

- no interior e no exterior de edifícios com ausência de irradiação solar:

$$WBGT_{\text{ambientes fechados}} = 0,7 t_{nw} + 0,3 t_g$$

- no exterior de edifícios com presença de irradiação solar:

$$WBGT_{\text{ambientes externos}} = 0,7 t_{nw} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$$

onde:

$t_{nw}$  - temperatura do bolbo húmido a ventilação natural;

$t_g$  - temperatura do bolbo negro;

$t_a$  - temperatura do ar.

Para a medição do índice WBGT faz-se referência às normas EN ISO 7726 e EN 27243.

Intensidade de turbulência: intensidade local de turbulência em percentagem, definida como a relação entre o desvio padrão da velocidade local e a velocidade média local do ar (da ISO 7726) é dado pela Equação (I.2):

$$T_u = \frac{SD}{v_a} \times 100 \quad (I.2)$$

onde:

$v_a$  - velocidade média local do ar

SD - desvio padrão da velocidade local do ar (Equação (I.3))

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_{ai} - v_a)^2} \quad (I.3)$$

Do cálculo da turbulência, conhecendo os valores médios da velocidade local do ar e da temperatura ambiente, extrai-se o factor de risco da corrente de ar DR (do inglês "Draught Rating"), segundo a norma ISO 7730 (Equação (I.4)):

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v_a - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_a \cdot T_u + 3,14) \quad (I.4)$$

O desconforto da corrente de ar é definido como um indesejável esfriamento local do corpo devido ao movimento do ar. O risco da corrente de ar DR indica a percentagem de pessoas insatisfeitas em virtude da corrente de ar. O índice DR é calculado quando na situação ambiental a temperatura é compreendida entre 20 °C e 26 °C e a velocidade média do ar < 0,5 m/s.

Na Tabela I.12 apresentam-se as especificações dos diferentes componentes da estação de conforto.

Tabela I.12 – Especificações técnicas dos componentes da estação de conforto

Dimensões:	(A x L x P) 220x180x50 mm
Peso:	1100 g (com baterias)
Material:	ABS, Policarbonato e Alumínio
Mostrador:	Retro-iluminado, dot matrix 128x64 dots, Área visível 56x38mm
<b>Condições operacionais</b>	
Temperatura operacional	-5 a 50°C
Temperatura de armazenamento	-25 a 65°C
Humidade relativa operacional:	0 a 90% de Hr não condensada
Classe de protecção	IP64
Incerteza do instrumento	± 1 dígito @ 20°C
<b>Alimentação</b>	
Adaptador principal (código SWD10)	12Vdc/1A
Baterias:	Quatro pilhas 1.5V tamanho C
Autonomia Com sondas de temperatura e humidade:	
Com baterias alcalinas de 7800mAh:	200 horas
Com sondas de fio quente @ 5m/s:	100 horas com baterias alcalinas de 7800mAh
Absorção de energia (instrumento desligado):	< 20µA
Segurança dos dados armazenados	Ilimitada

Na Tabela I.13 indica-se a capacidade de memória do equipamento.

Tabela I.13 – Capacidade de memória da estação de conforto

Intervalo de memória	Capacidade de memória	
15 segundos	22 horas	
30 segundos	43 horas	
1 minuto	87 horas	(± 3 dias e meio)
2 minutos	175 horas	(± 7 dias)
5 minutos	437 horas	(± 18 dias)
10 minutos	875 horas	(± 36 dias)
15 minutos	1312 horas	(± 54 dias)
20 minutos	1750 horas	(± 72 dias)
30 minutos	2625 horas	(± 109 dias)
1 hora	5250 horas	(± 218 dias)

O HD32.1 é dotado de interface serial RS-232C, isolada electricamente e de interface USB 2.0.

A conexão através da porta USB requer a prévia instalação de um driver contido no software do equipamento. Antes de ligar o cabo USB ao PC, é necessário instalar o driver.

Os parâmetros padrão de transmissão serial RS232 do instrumento são indicados na Tabela I.19.

É possível modificar a velocidade de transmissão de dados serial RS232C utilizando o parâmetro “Seleção da velocidade de transferência serial (Baud Rate)” no interior do menu. Os valores possíveis são: 38400, 19200, 9600, 4800, 2400, 1200. Os outros parâmetros de transmissão são fixos.

A conexão USB 2.0 não requer a configuração de nenhum parâmetro.

Tabela I.14 – Características de ligação da estação de conforto

<b>Ligações</b>	
Entrada para sondas com módulos SICRAM:	8 Conectores DIN 45626 macho 8- pólos
Interface serial:	RS232C
Tipo:	RS232C isolada galvanicamente
Taxa de transferência:	Configurável entre 1200 e 38400 baud
Data Bit:	8
Paridade:	Nenhuma
Stop Bit:	1
Controle de fluxo, protocolo:	Xon/Xoff
Comprimento do cabo serial:	Max 15m
Tipo de interface USB:	1.1 – 2.0 Isolada galvanicamente
<b>Padrão EMC</b>	
Segurança	EN61000-4-2, EN61010-1 nível 3
Descarga electrostática	EN61000-4-2 nível 3
Transientes eléctricos	EN61000-4-4 nível 3 EN61000-4-5 nível 3
Variações de tensão	EN61000-4-11
Susceptibilidade de interferências electromagnéticas	IEC1000-4-3
Interferência de emissões electromagnéticas	EN55020 classe B

A selecção da porta é feita directamente pelo equipamento: se a porta USB é conectada a um PC, é automaticamente excluída a porta serial RS232 e vice-versa.

Os equipamentos são dotados de um conjunto completo de comandos e requisição de dados a serem enviados através do PC.

Todos os comandos transmitidos ao equipamento devem ter a seguinte estrutura:

XXCR onde: XX constitui o código de comando e CR o Carriage Return (ASCII 0D). Os caracteres de comando XX são exclusivamente maiúsculos, o equipamento responde com "&" se o comando é correcto, com um "?" a cada combinação de caracteres errada. As expressões de resposta do equipamento terminam com o envio dos comandos CR (Carriage Return) e LF (Line Feed).

Antes de enviar comandos ao equipamento através da serial é aconselhável bloquear o teclado para evitar conflitos de funcionamento: use o comando P0. Ao concluir, restabeleça o uso do teclado com o comando P1.

### I.1.2. Qualidade do Ar Interior

Para a avaliação da Qualidade do Ar Interior (QAI) dos edifícios foram realizados ensaios para medir a taxa de renovação de ar do edifício. Foram também realizadas medições da concentração de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Partículas (PM<sub>10</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O<sub>3</sub>), Formaldeído (CHOH) e de Radão (Rn) no interior dos edifícios analisados.

De seguida descrevem-se as principais características dos equipamentos utilizados para avaliar a Qualidade do Ar Interior.

## PORTA VENTILADORA

A porta ventiladora, Figura I.17, permite determinar a taxa de renovação horária, rph, de um edifício através de dois tipos de ensaios, pressurização e despressurização.



Figura I.17 – Porta ventiladora

A Porta Ventiladora (Blower Door) é uma ferramenta de diagnóstico projectada para medir a estanquidade dos edifícios, através da determinação do número de renovações de ar por hora, e para localizar os locais por onde ocorrem as infiltrações de ar nos edifícios.

A determinação da estanquidade dos edifícios é importante para diversos fins, dos quais se podem referir:

- a determinação da estanquidade dos edifícios;
- diagnosticar e demonstra a existência de problemas de estanquidade nos edifícios;
- estimar o número de renovações de ar por hora, rph;
- estimar os níveis de infiltração de ar nos edifícios;
- medir e documentar a eficácia de medidas de “selagem” dos edifícios; e
- medir o fluxo de ar em ductos de sistemas de ventilação mecânica.

A porta ventiladora é constituída por uma ventoinha, que é temporariamente instalada numa porta exterior, selando-a. A ventoinha insufla ou extrai ar do interior do edifício, de modo a criar uma pequena diferença de pressão entre o interior e o exterior do edifício. Esta diferença de pressão força o ar a circular através dos orifícios, frinchas e fissuras da envolvente. Através da medição em simultâneo do fluxo de ar através da ventoinha e do seu efeito na pressão do ar no interior do edifício, a porta ventiladora, através do programa de operação, TECTITE, mede a estanquidade da envolvente. Quando mais estanque for o edifício, menor será a quantidade de ar necessária para a ventoinha da porta ventiladora criar uma alteração da pressão no interior do edifício.

Além da ventoinha e do seu conjunto de anéis de selagem, a porta ventiladora é constituída por uma estrutura ajustável em alumínio, que constitui a estrutura da porta ventiladora e uma tela estanque, em nylon, que é usada para instalar e selar a ventoinha na porta exterior, tal como mostra a Figura I.18. A estrutura da porta é ajustável a maioria das dimensões típicas das portas de edifícios residenciais.

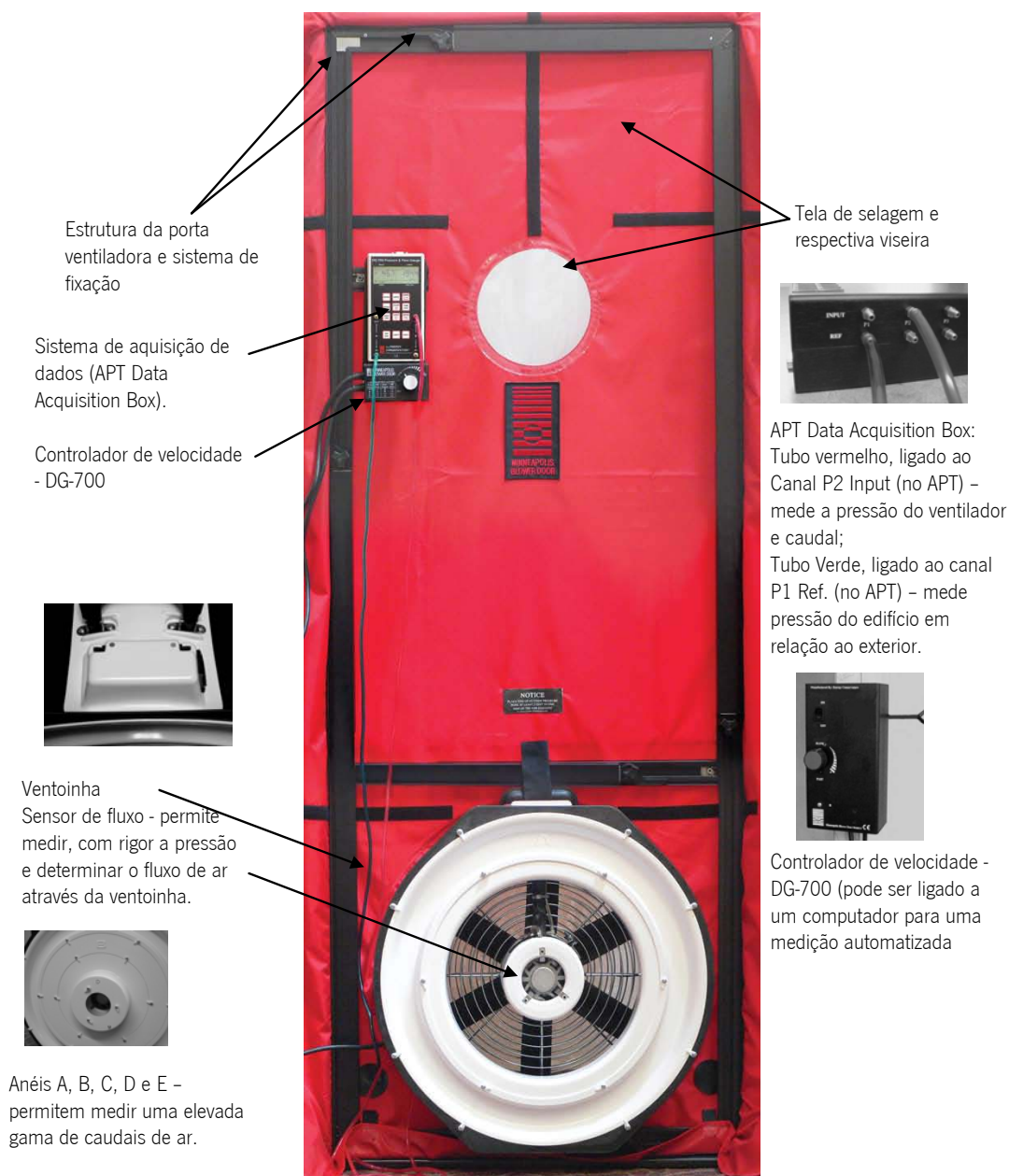


Figura I.18 – Elementos constituintes da porta ventiladora

A estrutura em alumínio consiste em cinco peças. Quatro peças, com encaixe, constituem as ombreiras, a soleira e a padieira da porta e uma peça, com ganchos que constitui o elemento de suporte para a instalação da ventoinha, através de um sistema de velcro, que permite a instalação da ventoinha a 5 cm do pavimento.

Os ensaios de ventilação usando a porta ventiladora consistem de um conjunto de medições do fluxo de ar através da ventoinha para pressões que variam entre 60 Pa e 15 Pa. Estes ensaios, desde a instalação da porta ventiladora, realizar o teste e documentar a estanquidade do edifício demora cerca de 20 minutos. As condições atmosféricas podem afectar a duração dos ensaios.

O levantamento das características do edifício, apresentadas na Tabela 2.1 demora mais tempo. Os dados a introduzir no programa TECTITE, que permite operar a ventoinha da porta ventiladora e fazer os

cálculos, de acordo com o definido na ASHRAE 62.2 e para preenchimento da ficha de ensaio, necessários à realização do ensaio são (ASHRAE 62.2, 2007):

- Dados relativos ao edifício e ao utilizador:
  - Nome do proprietário;
  - Morada;
  - Contactos: número de telefone, email;
- Dados relativos ao edifício e às condições de ensaio:
  - Data e hora;
  - Temperatura ambiente interior e exterior;
  - Área útil de pavimento;
  - Volume;
  - Área de envolvente exterior;
  - Número de quartos;
  - Número de ocupantes;
  - Protecção ao vento (Wind Shielding)



Tabela I.15 – Dados do ensaio da porta ventiladora

Tipo de sistema de climatização

Tipo de exposição do edifício ao vento (protegido, exposto, etc.)

Classe de exposição (definida em função da velocidade do vento, calmo, brisa suave, vento moderado, etc.)

Pressão Barométrica [Pa]

Altitude [m]

Temperatura ambiente interior [°C]

Temperatura ambiente exterior [°C]

Área [m²] Volume [m³]

N.º de quartos N.º de ocupantes

N.º do Teste: Teste: Pressurização  Despressurização

Pré-teste para determinação da pressão base do edifício: [Pa]

Pressão no edifício	Anel instalado	Pressão da ventoinha	Fluxo
[Pa]		[Pa]	[m³] (cfm)

Pós-teste pressão da baseline: [Pa]

Modelo da ventoinha e número de série

Resultados:

Cfm50:

Rph50:

Cfm50/m²:

Mpls leakage ratio:

Sendo:

- Caudal a 50 Pa ( $Q_{50}$ ) – é o caudal de ar necessário para criar uma mudança de pressão no edifício de 50 Pa.
- Taxa de renovação horária a 50 Pa ( $rph_{50}$ ) – é o número de renovações de ar completas que vão ocorrer numa hora com uma pressão de 50 Pa aplicada uniformemente na envolvente do edifício (Equação (I.5)). É um método útil para ajustar as infiltrações pelo tamanho (volume) do edifício. Este parâmetro só é calculado se for introduzido o volume do edifício.

$$rph_{50} = \frac{Q_{50} \times 60 \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{\sqrt{m^3}} \quad (1.5)$$

- Caudal a 50 Pa/área de pavimento ( $w_{50}$ ) – este valor ajusta (ou normaliza) as infiltrações pelo tamanho (área do pavimento) do edifício (Equação (1.6)). Só é calculado se for introduzida a área de pavimento.

$$w_{50} = \frac{Q_{50} \times 60 \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{A [m^2]} \quad (1.6)$$

- Minneapolis leakage ratio ou Caudal a 50 Pa/ área de envolvente (MLR ou  $q_{50}$ ) – é útil para ajustar (ou normalizar) as infiltrações pela quantidade da superfície da envolvente através da qual ocorrem as fugas de ar (Equação (1.7)). Só é calculado se for introduzida a área da envolvente acima do solo, devendo ser incluída a área de envolvente exterior e interior.  $q_{50} = Q_{50} [m^3/h] /$  área de pavimento acima do solo  $[m^2]$ .

$$q_{50} = \frac{Q_{50} \times 60 \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{A_{\text{envolvente acima do solo}} [m^2]} \quad (1.7)$$

- Área equivalente de infiltrações (EqLA, Equivalent Leakage Area) – área de um orifício com aresta viva que irá escoar o mesmo montante de ar que um edifício escoar a uma pressão de 10 Pa. Para demonstrar mudanças físicas na hermeticidade do edifício o uso deste parâmetro é mais adequado.
- Área efectiva de infiltrações (ELA, Effective Leakage Area) – área de um buraco em forma de bocal (semelhante à entrada da porta ventiladora) que vai escoar o mesmo montante de ar que o edifício a 4 Pa de pressão.

Os dados obtidos no ensaio podem ser apresentados em forma de tabela ou de forma gráfica, tal como se apresenta na Figura I.19. O programa TECTITE, associado à utilização da porta ventiladora faz os cálculos de forma automática, de acordo com o definido na ASHRAE 62.2 e representa os resultados de forma gráfica (ASHRAE 62.2, 2007).

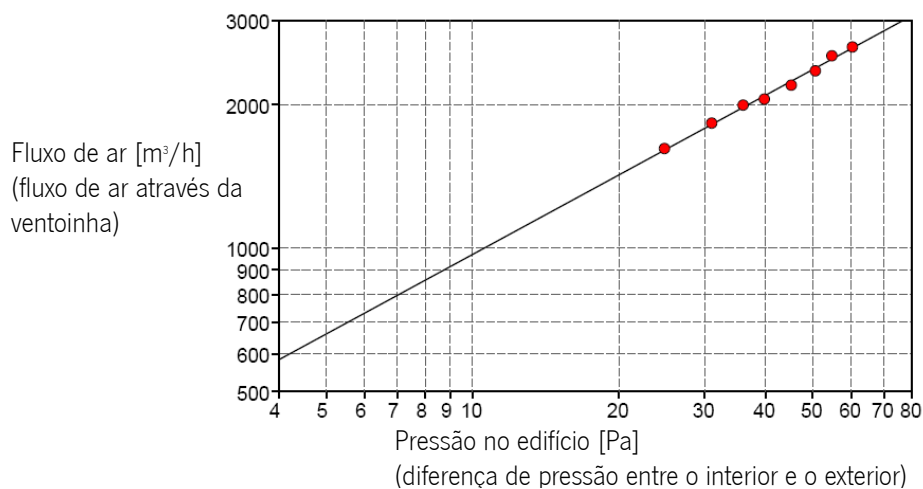


Figura I.19 – Dados obtidos do ensaio da porta ventiladora

A porta ventiladora, Minneapolis Blower Door TM é reconhecida há mais de 20 anos como um sistema de teste para realizar ensaios de determinação da taxa de renovação de ar, em todo o mundo.

A ventoinha é leve, precisa e fiável, com permitindo de forma rápida e precisa avaliação da taxas de renovação horária com caudais de 19 a 10700 m<sup>3</sup>/h, sendo compatível com a realização de ensaios, tanto de pressurização como de despressurização.

O sistema de controlo contém dois sensores de pressão precisos que permite que a pressão do edifício e o caudal / fluxo de ar na ventoinha em simultâneo.

Na Tabela I.16 apresentam-se as especificações dos diferentes componentes da porta ventiladora.

Tabela I.16 – Especificações dos componentes da porta ventiladora

<b>Ventoinha</b>	
Caudal máximo	10700 m <sup>3</sup> /h em campo aberto
	9000 m <sup>3</sup> /h a 50 Pa
Caudal mínimo	510 m <sup>3</sup> /h com o anel B
	119 m <sup>3</sup> /h com o anel C
	34 m <sup>3</sup> /h com o anel D
	19 m <sup>3</sup> /h com o anel E
Dimensões:	50 cm de diâmetro, 26 cm de largura
Peso:	15 kg, com os anéis A e B.
Precisão:	+/- 3% usando o sistema de aquisição APT, anéis D e E +/- 4% ou 1 CFM
Calibração:	Respeita as normas: ASTM Standard E779-03, CGSB-149.10-M86, EN 13829 e ATTMA Technical Standard 1.
Corrente eléctrica	110 V ou 220 V
<b>Material da estrutura e da tela da porta</b>	
Material da estrutura:	Alumínio extrudido
Largura:	61 cm a 101 cm
Altura :	121 cm a 238 cm
Selagem:	Cordão flexível em EPDM
Material da tela:	Nylon, com viseira em vinil

A porta ventiladora, Minneapolis Blower Door, pode ser operada manualmente, ou de forma automática através do TECTITE Blower Door Test Software, com base Windows, que permite operar o equipamento e após a introdução dos dados necessários calcular (usando o estipulado na norma CGSB 149.10-M86) e mostrar os dados do ensaio (rph, estimar a taxa de infiltração anual segundo as normas ASHRAE Standards 119 and 136 e até estimar os custos associados à renovação de ar), gravar os resultados e gerar relatórios (CGSB 149.10-M86 test Standard; ASHRAE Standards 119; ASHRAE 136).

#### ***Metodologia de ensaio utilizando a porta ventiladora***

Os ensaio de verificação da estanquidade global dos edifícios, utilizando a porta ventiladora, mais comuns são o One-Point Test (Teste com um ponto) e o Multi-Point Test (Teste Multi-Ponto).

O One-Point Teste utiliza apenas uma medição do caudal de ar necessário para criar uma alteração de 50 Pa na pressão do edifício, determinando o CFM50.

No teste multiponto são realizados vários testes, numa gama de pressões, em geral entre 15 Pa e 60 Pa (em geral para oito pressões: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 e 60 Pa, criando o gráfico representado na Figura I.19).

A realização de vários testes permite reduzir os erros associados a flutuações de pressão e a erros de operação, aumentando a precisão das medições, bem como estimar a área de infiltração do edifício (ou seja, estimar o tamanho cumulativo das aberturas na envolvente do edifício). A área de infiltração é utilizada em modelos detalhados de simulação de infiltração.

Na realização de um ensaio com a porta ventiladora é medida a alteração da pressão no edifício provocada pelo caudal de ar introduzido pela ventoinha. Para este valor ser calculado de forma correcta é necessário considerar a pressão existente no edifício, devido ao efeito do vento ou ao efeito de chaminé, por exemplo. A pressão existente no edifício é designada por pressão base do edifício ("baseline building pressure").

Aquando da realização de um ensaio de despressurização (o mais comum) deve-se

- Instalar porta ventiladora numa porta exterior num compartimento amplo;
- Evitar colocar a porta ventiladora num local com escadas ou obstruções à circulação de ar muito próximas da entrada de ar da ventoinha (0,3048 m-1,524 m);
- Se a porta separar o edifício de uma garagem ou varanda, é necessário verificar que o espaço está aberto para o exterior, abrindo as portas e/ou janelas;
- Abrir sempre o mais possível a porta onde está colocada a porta ventiladora durante o teste para prevenir restrições à circulação de ar;
- Fechar todas as janelas e estores exteriores;
- Fechar todas as portas exteriores e sótãos interiores ligados a espaços não-condicionados, fechar também alçapões exteriores caso estejam normalmente fechados;
- Abrir todas as portas interiores dos espaços condicionados, o edifício é analisado como um todo. Caso as caves e sótãos sejam utilizados como espaços úteis, devem ser incluídos nos espaços condicionados;
- Ajustar todos os aparelhos de combustão (esquentadores e caldeiras) de modo a que não se liguem durante o teste.
- Certificar-se de que as lareiras ou fogões de lenha estão completamente apagados
- Desligar extractores e sistemas de climatização.

### COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)

O Sensor Photovac (Figura I.20) mede concentração de gases e vapores fotoionizáveis (componentes orgânicos voláteis) em partes por bilião (ppb), partes por milhão (ppm) e em miligramas por metro cúbico (mg/m<sup>3</sup>). Os valores medidos são apresentados no ecrã e gravados. Este sensor mede a concentração de todos os químicos fotoionizáveis presentes na amostra (componentes orgânicos voláteis totais - COV totais), actualizando os valores uma vez por segundo.



Figura I.20 – Sensor de COV: Photovac modelo 2020ppbPRO ([www.photovac.com](http://www.photovac.com))

O sensor de COV: Photovac modelo 2020ppbPRO é muito sensível, permitindo a medição de reduzidas concentrações de VOC, de 10 ppb a 10 ppm, com precisão de ppb.

O equipamento calcula o limite de exposição de período curto (short-term exposure limit - STEL), a média ponderada no tempo (time-weighted average - TWA) e o valor máximo detectado (PEAK).

O período de medição pode variar entre 1 e 999 segundos (16,65 minutos), podendo ser gravadas, por data e hora, até 12000 medições (cerca de 200 horas com medições de 1 minuto), que podem ser consultadas no ecrã do equipamento ou transferidas para um computador.

O sensor de COV da Photovac, modelo 2020ppbPRO é um sistema de recolha de amostras de ar, controlado por um microprocessador, que mede a presença de compostos fotoionizáveis no ar.

A entrada de ar é efectuada através de um tubo, que contém um filtro, que permite a análise de uma amostra de ar seco e estável.

Na Figura I.21 mostram-se os componentes principais do sensor de COV, Photovac - modelo 2020ppbPRO ([www.photovac.com](http://www.photovac.com)).

O microprocessador controla os componentes do equipamento e interpreta e grava o sinal gerado pelo detector de fotoionização.

O microprocessador do sensor determina o valor mínimo, máximo e a média de cada medição. O valor máximo é actualizado a cada segundo.

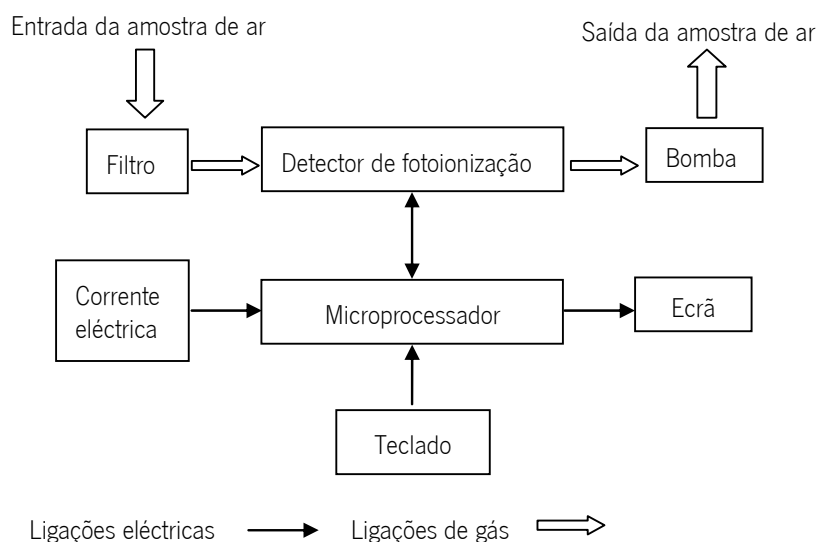


Figura I.21 - Componentes principais do sensor de COV: Photovac model 2020ppbPRO  
(www.photovac.com)

A bomba aspira continuamente o ar através do detector de fotoionização. O detector de fotoionização converte a concentração de compostos fotoionizáveis na amostra num sinal eléctrico. O microprocessador divide o sinal pela sensibilidade e apresenta a concentração no monitor, se a concentração máxima admissível tiver sido introduzida e este valor for ultrapassado será apresentado um sinal de alarme e emitido um sinal áudio.

O sensor detecta centenas de gases e vapores, dependendo a sua resposta do tipo e concentração de cada componente. O sensor não distingue os compostos, apresentando a concentração total de compostos fotoionizados, através de uma lâmpada de UV da amostra de ar recolhida. Uma vez que os gases principais do ar (árgon, dióxido de carbono, azoto, oxigénio, vapor de água, etc.) necessitam de uma energia de ionização elevada não são ionizados pelos fotões UV, no entanto os compostos considerados poluentes, incluído os hidrocarbonetos são ionizados.

O mostrador do equipamento (Figura I.22) possui oito linhas, sendo a concentração de VOC, em valores instantâneos, o valor máximo, STEL e TWA, apresentadas em partes por bilião (ppb) entre 10 ppb e 40000 ppb com 1 ppb de resolução.



Figura I.22 - Mostrador do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO

Na Tabela I.17 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO.

Tabela I.17 – Especificações dos componentes do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO

Tamanho:	228,6 mm de comprimento x 76,2 mm de profundidade x 107,9 mm largura no mostrador até 66,6 mm
Peso:	0.86 kg
Sensor:	Detector de fotoionização com lâmpada de 10,6 eV
Teclado:	5 teclas
Mostrador:	8 linhas
Memória:	200 horas com intervalos de medição de 1 minuto
Porta de ligação:	RS-232, 9600 baud, 8 data bits sem paridade, para ligação com um computador compatível com Windows™
Saída áudio:	Alarme com 85 decibel
Contacto de admissão:	Armação de 3,175 mm
Bateria:	Recarregável de níquel cádmio (24% em peso)
Tempo de carregamento / descarregamento:	4 horas /8 horas
Corrente eléctrica:	12 VDC, 1.0 A
Carregador da bateria:	O carregador carrega automaticamente a bateria Input: 100 - 250 VAC; 50 - 60 Hz; 0.5 - 0.3 A Output: +12VDC; 2,08A
Materiais:	Aço inox, Teflon, Viton®, polipropileno, nitrilo-clorobutadieno, borracha, níquel
Filtro de entrada:	Teflon, polipropileno substituível
Fluxo de entrada	Mais de 300 ml/min
Temperatura de funcionamento:	0 a 50°C
Temperatura de funcionamento I/S:	0 a 40°C
Humidade relativa de funcionamento:	0 a 95% (sem condensação)
Humidade relativa de funcionamento, utilizando um pré-filtro:	0 a 100% (sem condensação)
Altitude máxima de funcionamento:	3000 m
Temperatura de armazenamento:	- 10 a 65°C
Humidade relativa de armazenamento:	0 a 100% (sem condensação)
Altitude máxima de armazenamento:	4570 m
Concentração de funcionamento:	10 ppb a 40 ppm, isobutileno
Sensibilidade:	+/-10% ou +/-2 ppm, o que for maior
Precisão:	1% de calibração (calibrado com 10 ppm isobutileno)
Tempo de resposta:	Menos de 3 segundos a 90%
LDL:	10 ppm isobutileno

Na Tabela I.18 apresenta-se o número de horas de registo em função do intervalo de medição do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO.

Tabela I.18 – Número de horas de registo em função do intervalo de medição do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO

Intervalo de medição (exemplo)	Número de horas de funcionamento até completar a memória
15 s	50
1 m	200
2 m	400
5 m	1000
15 m	3000

Procedimento de medição:

- Logging off mode: apresenta continuamente (a cada segundo) os valores de concentração total dos compostos voláteis. (MENU);
- Tag mode: mostra continuamente a concentração total de componentes voláteis. Permite identificar e armazenar as leituras, permite guardar uma leitura base, uma única leitura e atribuir códigos de localização às leituras. (VIEW; TAG; MENU);
- Interval mode: permite medir num intervalo de 1 a 999 segundos. (VIEW; CLEAR; MENU);
- STEL (Short- Term Exposure Limit): mostra a concentração média a cada minuto num intervalo de 15 minutos, apresenta sempre as 15 médias correspondentes aos últimos 15 minutos. Quando se liga o sensor o valor de STEL é igual a 0;
- TWA (Time-Weighted Average): soma as concentrações a cada segundo até 8h e depois pára. Os valores só se apagam premindo “Clear”;
- PEAK: mostra a concentração corrente, este valor é actualizado a cada segundo. No fim do intervalo é calculada a concentração mínima, máxima e média. Os valores só se apagam premindo “Clear”;

### FORMALDEÍDO

O sensor de formaldeído, Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com)) permite medir a concentração de formaldeído (HCHO) no ambiente.

No mostrador do sensor, Figura I.23, durante as medições é mostrada a concentração, em tempo real, de formaldeído no ar, em parte por milhão (ppm). Este valor é actualizado a cada 10 segundos. O sensor continua a medição até terminar o período de medição. O período de medição pode ser definido entre 0 e 90 minutos.





Figura I.23 – Sensor de formaldeído, Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300  
([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com))

Na Figura I.26 apresenta-se um exemplo do ficheiro de resultados.

Environmental Sensors Company	→ Nome da empresa produtora do equipamento
ZDLG DAQ Programs	→ Informação relativa ao programa
CopyRight 2002	
# 1	→ Número da medição (1 a 5)
04/06/09	Data
17:38:34	Hora
10	Intervalo entre medições (10 segundos)
8	Número de medições realizadas
*_*_*	
0.00	
0.00	
0.02	Dados relativos às medições realizadas
0.08	
0.04	
0.02	
0.02	
0.02	
*_*_*	
End of Data.	Fim da 1ª medição

Figura I.24 – Exemplo do ficheiro de resultados do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200

Procedimento para medição:

- Colocar a tampa no sensor e ligar (30 segundos a 1 minuto);
- Retirar a tampa e colocar o filtro 1 (amarelo) (30 segundos a 3 minutos);
- Retirar o filtro 1 e colocar o filtro 2 (branco);
- Medir só num ponto fornece uma medição mais exacta;

- Pode-se configurar o sensor para medir entre 0 a 90 minutos, retirando valores de 10 em 10 segundos;
- Para ver qual o valor médio manter premir a tecla “AVE” depois de terminadas as medições;
- Configuração da ligação ao computador para transferir os dados: “Port Settings” – Data bits: 8; Parity: none; Stop bits: 1; Baud Rate: 9600; Flow control: XON-XOFF

Na Tabela I.19 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com)).

Tabela I.19 – Especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com))

Gama nominal:	0 - 30 ppm
Valor máximo:	34 ppm
Tempo de resposta:	< 60 segundos
Máximo valor base:	0,05
Temperatura de funcionamento:	0 a 40 °C
Gama de pressões:	Atm +/- 10%
Gama de humidade relativa:	15 a 90% (sem condensação)
Alarme:	Audível, 80 dB

Na Tabela I.20 apresentam-se a sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com)).

Tabela I.20 – Sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com))

Gás	Concentração de gás [ppm]	Resultado com o filtro ZDL-300 [ppm]
Acetona	2	2
Methylethyl Ketone	2	0
Diethyl Ketone	2	2
Acetaldeído	12	0
Ácido acético	0	0
Etileno	67	0
Metanol	125	0
Etanol	55	0
I-propanol	44	0
Monóxido de carbono	40	0

## OZONO

O sensor de ozono (Figura I.25), Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com)), permite medir a concentração de ozono (O<sub>3</sub>) no ambiente.

No mostrador do sensor, durante as medições é mostrada a concentração, em tempo real, de ozono no ar, em parte por milhão (ppm). Este valor é actualizado a cada 10 segundos. O sensor continua a medição até terminar o período de medição. Por defeito o período de medição definido é de 8 horas, podendo ser ajustado para valores entre 0 e 480 minutos (8 horas). O sensor pode registar 6 medições.



Figura I.25 – Sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200  
(www.environmentalsensors.com)

Procedimento para medição:

- Colocar a tampa
- Ligar o sensor
- O sensor mostra o modelo, tipo químico, data, hora e memória disponível
- Iniciar medições
- Remover a tampa e confirmar
- Medição da concentração de ozono em partes por milhão (ppm)
- Valor máximo: PEAK; valor médio: AVG; nova medição: NEW
- Concentração de ozono actualizada a cada 10 segundos até 8h

Para alterar este tempo de leitura ir ao Menu Calibration e colocar um valor entre 0 e 480 minutos (“Measure?” – No – “Upload to PC?” – Manter OK premido e depois premir Yes – “Calibration Menu” – “Ave Min” – Ajustar tempo de leitura).

Para actualizar os dados lidos pelo equipamento instalar o programa HyperTerminal (Iniciar – Programas – Acessórios – Comunicações – HyperTerminal).

Na Figura I.26 apresenta-se um exemplo do ficheiro de resultados.

```

Environmental  → Nome da empresa produtora do equipamento
Sensors Company  Informação relativa ao programa
ZDLG DAQ Programs
CopyRight 2001

# 1           → Número da medição (1 a 5)
04/06/09      Data
08:19:47 A.M. Hora
10           Intervalo entre medições (10 segundos)
15           Intervalo entre medições (10 segundos)
*_*_*        Número de medições realizadas
0.00
0.13
0.15
0.23
0.19         Dados relativos à medição
0.17
0.12
0.12
0.12
0.12
0.11
0.11
0.10
0.10
0.10
*_*_*
End of Data.      Fim da 1ª medição
    
```

Figura I.26 – Exemplo do ficheiro de resultados do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200

Depois de executar o programa:

- “Connection Description” – cria um nome e ícone
- “Connect to” – Connect using – identificar a porta COM que está a ser usada
- “Port settings” – Data bits = 8; Parity = None; Stop Bits = 1; Baud rate (bits per second) = 9600; Flow control = XON-XOFF

Na Tabela I.21 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com)).

Tabela I.21 – Especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com))

Gama nominal:	0 - 2 ppm
Resolução:	0,01 ppm
Precisão:	+/- 0,02 ppm
Tempo de resposta, 90% pico:	< 150 segundos
Temperatura de funcionamento:	- 20 a 50 °C
Gama de pressões:	Atm +/- 10%
Gama de humidade relativa:	15 a 90% (sem condensação)
Alarme:	Audível, 80 dB

Na Tabela I.22 apresentam-se a sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com)).

Tabela I.22 – Sensibilidade do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 ([www.environmentalsensors.com](http://www.environmentalsensors.com))

Gás	Concentração actual [ppm]	Concentração Z-1200 [ppm]
Monóxido de carbono	300	0
Sulfito de hidrogénio	15	-2
Dióxido de enxofre?!?	5	0
Óxido nítrico	35	0
Dióxido de nitrogénio	5	3,5
Cloro	1	0,5 - 1
Hidrogénio	100	0
Cianeto de hidrogénio	10	0
Cloreto de hidrogénio	5	0
Etileno	100	0

### PARTÍCULAS – PM<sub>10</sub>

O sensor de partículas (Figura I.27), DUSTTRAK™ II, permite medir a concentração de partículas (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>4</sub> e PM<sub>10</sub>) no ambiente, usando filtros selectivos, separadamente, que retêm as partículas com características específicas, recolhidas num prato de recolha metálico, da massa de ar que circula a 3,0 l/min, aspirado por uma bomba de vácuo. O filtro de PM<sub>2,5</sub> é usado para calibração do equipamento.



Figura I.27 – Mostrador do sensor de partículas DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531

O sensor de partículas DUSTTRAK II é um fotómetro a laser, com bateria, armazenamento de dados, que permite a leitura em tempo real da concentração de partículas no ar. Uma bomba interna permite a utilização de diversos filtros (PM10, PM2,5, PM1, ou respiráveis).

Este sensor possui:

- Capacidade de amostragem gravimétrica através de um filtro de cassete com 37 mm;
- Aviso visual e alarme que soará se a concentração ultrapassar um valor pré-definido;
- Baterias recarregáveis em Li-Ion;
- Possibilidade de carregamento das baterias inseridas no equipamento ou no exterior;
- Ecrã táctil, permitindo a realização de medições de forma manual ou programando o sensor;

Na Tabela I.23 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531.

Tabela I.23 – Especificações dos componentes do sensor de do sensor de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531

Tipo de sensor:	90° light scattering
Tamanho das partículas:	0,1 a 10 µm
Resolução:	± 0,1% da medição ou 0,001 mg/m <sup>3</sup> , o que for superior
Estabilidade:	± 0,002 mg/m <sup>3</sup> por 24 horas a 10 segundos
Caudal de ar:	3,0 l/min, por defeito, pode ser ajustado entre 1,4 e 3,0 l/min
Eficiência da circulação do caudal:	± 5%
Coefficiente de temperatura:	+ 0,001 mg/m <sup>3</sup> por °C
Temperatura de funcionamento:	0 a 50°C
Temperatura de armazenamento:	- 20 a 60°C
Humidade de funcionamento:	0 a 95% (sem condensação)
Constante de tempo:	1 a 60 segundos
Armazenamento:	5 MB de memória interna (> 60000 dados)
Intervalo de registo:	1 s a 1 h
Dimensões:	13.5 x 21.6 x 22.4 cm
Peso:	1,6 kg, 2,0 kg com uma bateria e 2,5 kg com duas baterias
Comunicação:	8530/31 USB; 8532 USB
Corrente eléctrica:	115-240 VAC (adaptador de corrente AC incluído)
Baterias:	6 h de funcionamento; 4 h de carregamento

#### APARELHO MULTIFUNCIONAL PARA MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) E DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

Para avaliar a concentração de monóxido e dióxido de carbono foi utilizado o aparelho multifuncional 435 da Testo (Figura I.28), com Classe de protecção IP 54 e bateria de NiMH e carregador AC (100-240 V).

O Testo 435 (0563 4352) em conjunto com a sonda IAQ (0632 1535) permite a avaliação da Qualidade do Ar Interior com base na concentração de CO<sub>2</sub>, humidade relativa, temperatura ambiente e pressão absoluta. A medição da concentração de CO foi realizada com a sonda CO ambiente (0632 1235). Foi também medida a velocidade do ar com um anemómetro de fio quente (0635 1025).

A capacidade de armazenamento de dados do Testo 435 é de 10000 leituras, com a respectiva data e hora de medição, permite também o cálculo de média das medições por tempo, multipontos ou ambos. Os dados podem ser transferidos para o computador através de uma ligação USB. É possível visualizar as leituras de 3 sensores em simultâneo.



Figura I.28 – Mostrador do sensor de CO e de CO<sub>2</sub> da Testo, modelo 435

Na Tabela I.24 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de CO e CO<sub>2</sub>, Testo 435 da sonda de IAQ e de CO.

Tabela I.24 – Especificações dos componentes do sensor de do sensor de CO e CO<sub>2</sub>, Testo 435

<b>Testo 435</b>	
Duração da bateria:	200 h
Dimensões:	225 x 74 x 46 mm
Tipo de sensor:	Sensor de QAI (CO <sub>2</sub> , Ta, Hr, P) (0632 1535)
Gama de medições:	0 a + 50 °C 0 a + 100 %Hr 0 a + 10000 ppm CO <sub>2</sub> + 600 a + 1150 hPa
Precisão:	± 0.3 °C ± 2 % Hr (+ 2 a + 98 %Hr) ± (50 ppm CO <sub>2</sub> ± 2% de mv) (0 a + 5000 ppm CO <sub>2</sub> ) ± (100 ppm CO <sub>2</sub> ±3% de mv) (+ 5001 a +10000 ppm CO <sub>2</sub> ) ± 5 hPa
Resolução:	1 ppm CO <sub>2</sub> 0,1 °C 0,1 %Hr 0,1 hPa
Temperatura de funcionamento:	- 20 a + 50 °C
Temperatura de armazenamento:	- 30 a + 70 °C
Velocidade de medição:	2/s
Tipo de sensor:	CO
Tipo de sensor:	Anemómetro de fio quente (0635 1025)
Gama de medição:	0 a + 20 m/s
Precisão:	± (0,03 m/s + 5% do vm)

Este equipamento utiliza como método de medição o método infra-vermelho não dispersivo, método este, definido pela nota técnica NT-SCE-02 como método de referência para medição de concentrações de monóxido de carbono (NT-SCE-02, 2008).

## RADÃO

A determinação do teor de radão foi realizada através de um sensor portátil ATMOS 12 PDX.

O sensor, sob a forma de uma mala em alumínio, apresentado na Figura I.29, é constituído por uma unidade de detecção (câmara de ionização pulsada), com alimentação de elevada voltagem uma bomba para aspiração do ar com filtro e desidratante, um pulse shaper electrónico com um ADC, possuindo um micro-computador incorporado com um mostrador e uma porta RS-232 para ligação ao computador.

Os resultados da medição são apresentados no ecrã do equipamento e gravados no microcomputador incorporado, podendo ser transferidos para um computador para análise mais detalhada. Os dados obtidos permitem a representação de concentração de radão ao longo do tempo e uma análise do espectro de energia.

Durante as medições o equipamento não pode ser deslocado. Durante o transporte a tampa, que possui um vedante em borracha, deve estar fechada, de modo a proteger o equipamento da humidade.

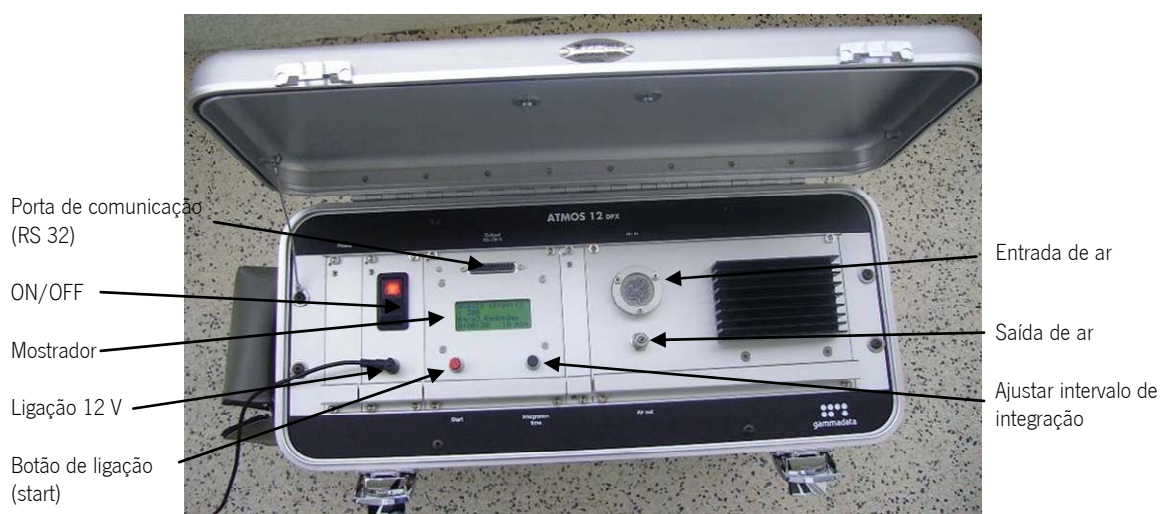


Figura I.29 – Sensor de radão (painel de controlo e caixa)

Estando o sensor em funcionamento no painel de controlo é visível a data e a hora, a concentração de radão em Bq/m<sup>3</sup> (Bequerel por metro cúbico), o erro, as unidades, o período de integração e o tempo que passou desde o início da integração.

Os resultados da medição são actualizados a cada 5 segundos. A incerteza é um desvio padrão. Como o decaimento da radioactividade é um processo estocástico é necessário um período de medição alargado para o erro ser pequeno.

Uma vez ligado o aparelho no mostrador, aparece a concentração de radão residual. Por defeito o equipamento efectua medições com 10 minutos de intervalo. É possível seleccionar intervalos de integração de 1, 5, 10 e 30 minutos, 1, 8 e 24 horas.

O equipamento tem uma capacidade de armazenamento de dados de 28 dias.

Uma vez que existe ar da medição anterior na câmara de análise, deve permitir que o equipamento recolha uma nova amostra, cerca de 5 minutos antes de dar início ao período de integração.

Depois de seleccionado o intervalo de integração e cinco minutos depois a medição ter início o primeiro valor é mostrado.

Se a concentração for baixa será apresentado um limite superior. Uma vez atingido intervalo de tempo de integração será apresentado o valor médio do último período de medição.



Os limites inferiores de detecção são os seguintes:

Tempo de medição	Concentração de radão [Bq/m <sup>3</sup> ]
5 s	1800
1 min	150
1 h	2,5
24 h	0,1

O limite superior de detecção é de 100000 Bq/m<sup>3</sup>.

Na Tabela I.25 apresentam-se as especificações dos diferentes componentes do sensor de radão. Na Tabela I.26 apresentam-se os erros do sensor de radão em função do período de integração.

Tabela I.25 – Especificações do sensor de radão

Instrumento	
Corrente eléctrica:	12 V; 5,5 A
Potência:	20 W
Gama de Temperaturas:	0 a 50°C
Gama de Humidade:	0 a 99%
Peso:	14 kg
Dimensões:	50 cm X 38,5 cm X 22 cm (C X A X E)
Detector / Sensor	
Tipo de Sensor:	Câmara de ionização
Volume da câmara:	2,3 l, com um volume activo de 0,6 l
Sensibilidade:	10% para 800 Bq/m <sup>3</sup> , para um intervalo de medição de 10 minutos limite superior de detecção é de 100000 Bq/m <sup>3</sup>
Bomba:	Bombagem de ar para fluxo contínuo 1,4 l/min Fluxo de ar através da câmara 1,0 l/min
Microcomputador	
Processador:	NEC V40
Memória:	28 dias de capacidade de armazenamento e 20 espectros de energia
Mostrador:	LCD com 4 X 6 caracteres
Porta de ligação:	RS 232

Tabela I.26 – Erro do sensor de radão em função da concentração e do período de medição

Concentração de radão [Bq/m <sup>3</sup> ]	Período de integração			
	1 min	10 min	1 h	8 h
200	70 %	20 %	10 %	4 %
800	35 %	10 %	5 %	2 %
2000	25 %	6 %	3 %	1,5 %

Não devem ser usados telefones móveis e equipamentos similares a menos de 2 m do instrumento, uma vez que as medições podem ser afectadas.

### I.1.3. Acústica

Para a avaliação da qualidade acústica dos edifícios foram realizados ensaios para a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão. De seguida descreve-se o equipamento utilizado.

#### Sonómetro

Para caracterização do ambiente acústico no interior dos edifícios ( $L_{AR}$ ) foram utilizados, em simultâneo:

- **Sonómetro Bruel & Kjaer, modelo 2231:**

Sonómetro integrador, com classe de precisão tipo I (IEC 651), da marca Bruel & Kjaer, modelo 2231, equipado com um microfone condensador de 1/2 polegada da Bruel & Kjaer tipo 4155, calibrado antes e após as medições com um calibrador da Bruel & Kjaer tipo 4231 debitando 93,8 dB à frequência de 1000 Hz. O sonómetro Bruel & Kjaer estava equipado com um módulo de análise estatística BZ 7101 da Bruel & Kjaer. Os valores finais das medições foram lidos e registados com uma impressora modelo 2318, que se encontrava ligada ao sonómetro por um módulo de interface da série ZI 0054 da Bruel & Kjaer.

- **Sonómetro CEL Instruments, modelo CEL-59 (Figura I.30):**

Sonómetro integrador com a classe de precisão Tipo I, da CEL Instruments, modelo CEL-593, equipado com um microfone condensador de 1/2 polegada tipo CEL-250, calibrado antes e após as medições com um calibrador da CEL - 284/2 debitando 114 dB à frequência de 1000 Hz.

Durante o decorrer das medições os microfones foram protegidos da acção do vento por paraventos e instalados em tripés.



Figura I.30 – Sonómetro CEL Instruments

Como equipamento de controlo, medição e registo nos ensaios de avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão foi também utilizado o sonómetro CEL Instruments, modelo CEL-59, e um gerador de ruído modelo CEL 513.

#### Fonte Sonora

Para realizar um ensaio de avaliação de isolamento sonoro a sons de condução aérea é necessário criar um campo sonoro (que se pode assumir como difuso) no interior do espaço emissor através de uma fonte sonora com características normalizadas, e a medição dos níveis médios de pressão sonora nos espaços emissor e receptor. Conhecida a área do elemento construtivo em análise, o tempo de reverberação e a área de absorção sonora equivalente do espaço receptor é então possível determinar o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea.

O campo sonoro é criado por uma fonte sonora normalizada

Nos ensaios de isolamento sonoro médio da parede de fachada e do isolamento sonoro a sons de condução aérea utilizou-se para a produção do campo sonoro uma fonte sonora com difusor cónico da marca Bruel & Kjaer, modelo 4224 da classe II (IEC) (Figura I.31).



Figura I.31 – Fonte sonora, modelo 4224 da Bruel & Kjaer e gerador de ruído, modelo CEL 513

### Máquina de Passos

Nos ensaios de isolamento sonoro a sons de percussão utilizou-se uma máquina de passos modelo 3204 da Bruel & Kjaer.

Uma fonte sonora de percussão normalizada (também designada por máquina de percussão normalizada ou máquina de passos, apresentada na Figura I.32) actua em laboratório (câmaras reverberantes) ou in situ sobre um elemento construtivo. A máquina de passos é um equipamento que percute o pavimento à razão de 10 choques por segundo, produzidos por 5 martelos de 500 g (cada) que caem de uma altura de 4 cm sobre o elemento construtivo a ensaiar.



Figura I.32 – Fotografia e ilustração de uma máquina de percussão normalizada, modelo 3204 da Bruel & Kjaer (Hamayon 1996)

O procedimento de ensaio deverá obedecer às directrizes técnicas definidas na ISO 140-6.



## Anexo II Descrição dos Ensaios de Isolamento Acústico

As medições para avaliação do isolamento acústico entre recintos realizaram-se segundo os procedimentos descritos nas normas internacionais ISO 140 e para o cálculo dos índices a norma ISO 717.

### II.1. Avaliação do Comportamento Acústico

As medições acústicas foram realizadas de acordo com 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 ISO 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).

O índice  $D_{2m, nT, w}$  e o índice  $D_{nT, w}$  foram adoptados pela regulamentação Portuguesa para a quantificação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e um espaço no interior de um edifício e para a quantificação do isolamento sonoro a sons aéreos entre dois espaços interiores de um edifício, respectivamente (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 96/2008).

O índice  $L'_{nT, w}$  foi adoptado pela regulamentação Portuguesa para a quantificação do isolamento sonoro a sons de percussão entre dois espaços interiores (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 98/2008).

#### II.1.1. Ensaios para a determinação do isolamento sonoro a sons aéreos

O índice  $D_{2m, nT, w}$  e o índice  $D_{nT, w}$  foram adoptados pela regulamentação Portuguesa (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 96/2008) para a quantificação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e um espaço no interior de um edifício e entre dois espaços interiores de um edifício, respectivamente.

- $D_{2m, nT, w}$  - índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior, padronizado.
- $D_{nT, w}$  - índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado.

Para determinar estes índices foi necessário determinar o valor emitido pela fonte no recinto onde esta se encontrava,  $L_1$ , ou no exterior,  $L_{1,2m}$ , e no recinto receptor de som,  $L_2$ , em função da frequência. Posteriormente realizou-se uma correcção do isolamento sonoro do elemento de separação entre os recintos através da medição dos tempos de reverberação,  $T_2$ , e do ruído de fundo,  $B_2$ , no recinto receptor e para as diversas frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava que se estendem desde os 100 Hz aos 4000 Hz.

Estas medições realizaram-se com o microfone situado a uma altura de 1,20 m afastado de qualquer superfície em pelo menos 0,5 m e descrevendo na sua trajectória uma circunferência de raio não inferior a 0,7 m.

O nível de pressão sonora do recinto receptor,  $L_2$ , é corrigido em função do ruído de fundo,  $B_2$ , da forma indicada na Tabela II.1.

Tabela II.1 – Correção do nível sonoro no recinto receptor em função do ruído de fundo

Situação	$L_2$ Corrigido [dB]
$L_2 - B_2 > 10$ dB	$L_{2corr} = L_2$
$6$ dB $< L_2 - B_2 < 10$ dB	$L_{2Corr} = 10 \times \text{Log} \left[ 10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{B_2}{10}} \right]$
$L_2 - B_2 < 6$ dB	$L_{2corr} = L_2 - 1.26$

A quantificação do valor global representativo do isolamento (índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado,  $D_{2m,nT,W}$  ou  $D_{nT,W}$ ) é obtido seguindo o método descrito na norma ISO 140-4 e ISO 140-5. Baseia-se no cálculo do valor do índice de atenuação sonora ( $D_{nT}$ ) para cada frequência central das bandas de 1/3 de oitava compreendidas entre os 100 Hz e os 3150 Hz, calculado através da Equação (II.1).

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (\text{II.1})$$

Onde:

$D_{nT}$  – isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado (dB)

$L_1$  – nível médio de pressão sonora no espaço emissor (dB)

$L_2$  – nível médio de pressão sonora no espaço receptor (dB)

$T$  – tempo de reverberação no espaço receptor, medido (s)

$T_0$  – tempo de reverberação de referência (s), tomando um valor igual a 0,5 s no caso de edifícios residenciais e situações análogas

A comparação entre os valores de isolamento sonoro referentes ao elemento construtivo em análise (curva real) e os valores de referência definidos na ISO 717-1 (curva de referência, Figura II.1) efectua-se por um processo de ajuste entre ambas, utilizando como critério a limitação do somatório das diferenças aritméticas dos valores relevantes. Visto que o objectivo deste processo é passar a representar a curva real através da curva de referência, só quando o valor medido do isolamento sonoro é inferior ao valor de referência é que a diferença é relevante - conceito de desvio desfavorável para sons aéreos.

Na prática começa-se por se arbitrar um valor (inteiro) para uma dada banda de frequências da curva de referência, a partir do qual é possível construir toda a curva e calcular os desvios desfavoráveis face à curva real.

Considera-se que o ajuste está terminado (trata-se de um processo iterativo) quando o somatório dos desvios desfavoráveis é inferior a 32 dB, para bandas de 1/3 de oitava.

Considera-se que o desvio desfavorável numa dada frequência corresponde ao valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência.

Com estes requisitos satisfeitos, o valor de  $D_{2m,nT,W}$  ou  $D_{nT,W}$  é encontrado no valor da ordenada da curva de referência para a frequência de 500 Hz.

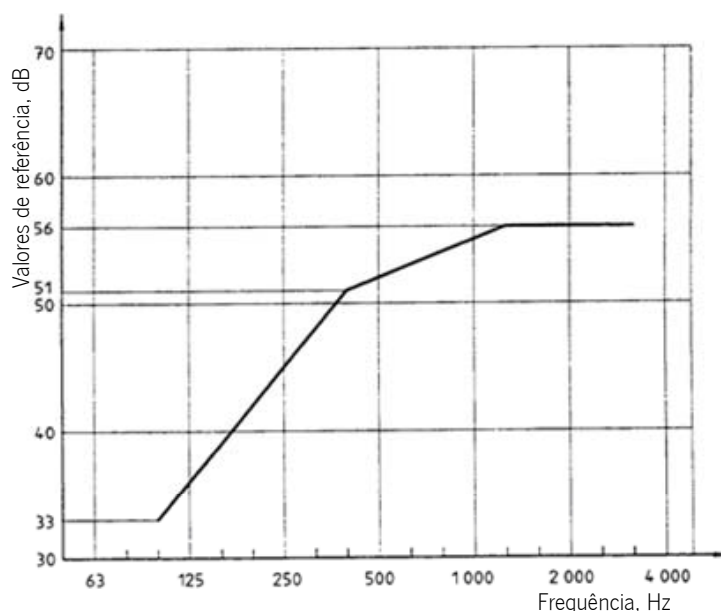


Figura II.1 – Curva de referência definida na ISO 717-1 para a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea por bandas de 1/3 oitava (16 bandas entre 100 e 3150 Hz)

### II.1.2. Ensaios para a determinação do isolamento sonoro a sons de percussão

O índice  $L'_{nT,w}$  foi adoptado pela regulamentação Portuguesa (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 98/2008) para a quantificação do isolamento sonoro a sons de percussão entre dois espaços interiores.

-  $L'_{nT,w}$  – índice de isolamento sonoro a sons percussão padronizado.

Para determinar este índice foi necessário determinar o valor emitido pela fonte no recinto receptor de som,  $L_i$ , em função da frequência. Posteriormente realizou-se uma correcção do isolamento sonoro do elemento de separação entre os recintos através da medição dos tempos de reverberação,  $T_{2r}$ , e do ruído de fundo,  $B_{2r}$ , no recinto receptor e para as diversas frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava que se estendem desde os 100 Hz aos 3150 Hz.

Estas medições realizaram-se com o microfone situado a uma altura de 1,20 m afastado de qualquer superfície em pelo menos 0,5 m e descrevendo na sua trajectória uma circunferência de raio não inferior a 0,7 m.

O nível de pressão sonora do recinto receptor,  $L_{2r}$ , é corrigido em função do ruído de fundo,  $B_{2r}$ , da forma indicada na Tabela II.1.

A quantificação do valor global representativo do isolamento (índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado,  $L'_{nT,w}$ ) é obtido seguindo o método descrito na norma ISO 717.2. Baseia-se no cálculo do valor do nível sonoro de percussão padronizado ( $L'_{nT}$ ) para cada frequência central das bandas de 1/3 de oitava compreendidas entre os 100 Hz e os 3150 Hz, calculado através da Equação (II.2).

$$L_{nT} = L_i - 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (II.2)$$

Onde:

$L_{nT}$  – nível de pressão sonora de percussão padronizado (dB)

L – nível de pressão sonora de percussão (dB)

$T_0$  – tempo de reverberação de referência (s), tomando um valor igual a 0,5 s no caso de edifícios residenciais e situações análogas

T – tempo de reverberação no espaço receptor, medido (s)

Tal como para os sons de condução aérea, também para os sons de percussão se recorre na prática a um índice único de avaliação que pondera o desempenho de isolamento sonoro para as diversas bandas de frequências (1/1 oitava ou 1/3 oitava), de acordo com uma situação padrão (que se designa por “curva” de referência) definida na ISO 717-2 (Figura II.2).

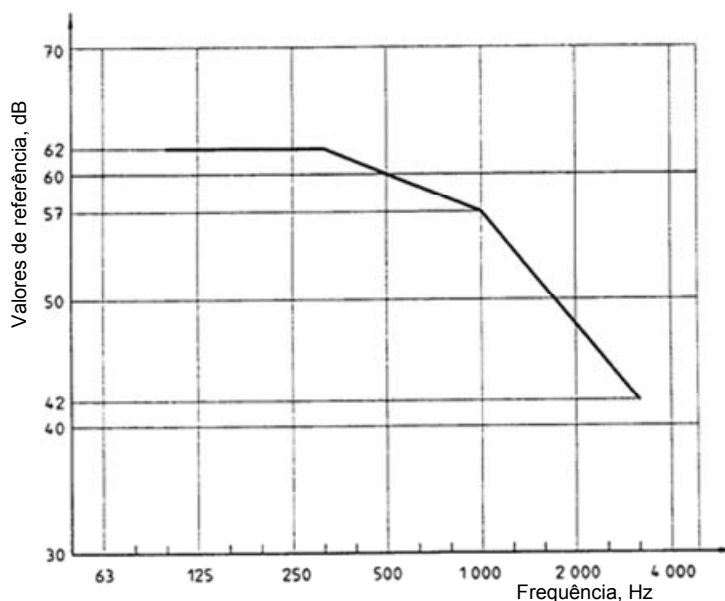


Figura II.2 – Curva de referência definida na ISO 717-2 para avaliação do isolamento sonoro a sons de percussão por bandas de 1/3 oitava (16 bandas entre 100 e 3150 Hz)

A comparação entre os valores de nível de pressão sonora referentes ao elemento construtivo em análise (curva real) e os valores de referência definidos na ISO 717-2 (curva de referência) efectua-se por um processo de ajuste entre ambas, utilizando como critério a limitação do somatório das diferenças aritméticas dos valores relevantes. Visto que o objectivo deste processo é passar a representar a curva real através da curva de referência, só quando o valor medido do nível de pressão sonora de percussão é superior ao valor de referência é que a diferença é relevante – conceito de desvio desfavorável para sons de percussão.

Na prática começa-se por se arbitrar um valor (inteiro) para uma dada banda de frequências da curva de referência, a partir do qual é possível construir toda a curva e calcular os desvios desfavoráveis face à curva real. Considera-se que o ajuste está terminado (trata-se de um processo iterativo) quando o somatório dos desvios desfavoráveis deve ser inferior a 32 caso para bandas de 1/3 oitava, respectivamente (o processo de ajuste é equivalente ao caso dos sons aéreos, exceptuando apenas o conceito de desvio desfavorável).

Com estes requisitos satisfeitos, o valor de  $L'_{nt,W}$  é encontrado no valor da ordenada da curva de referência para a frequência de 500 Hz.



## II.2. Critérios de Desempenho Acústico

Os critérios de desempenho acústico a especificar numa dada situação (por exemplo num edifício de habitação) devem abranger quer as exigências regulamentares aplicáveis, quer critérios complementares que assegurem as condições de conforto acústico compatíveis com a situação em causa.

A regulamentação Portuguesa relativa às exigências acústicas (mínimas) em edifícios (Decreto-Lei n.º 96/2008) define um conjunto de valores de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão, em função do tipo de edifício e da natureza dos espaços emissor/receptor.

Os critérios de desempenho acústico referentes a edifícios habitacionais e mistos<sup>1</sup> são apresentados no Capítulo 2.

Nas avaliações in situ destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios, o RRAE refere que deve ser tido em conta um factor de incerteza,  $I$  ( $I = 3$  dB), associado à incerteza na determinação das grandezas em causa, sendo o edifício, ou qualquer dos seus fogos, considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando o valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{2m, nT, w}$  ou  $D_{nT, w}$ , acrescidos do factor  $I$  e o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, diminuído do factor  $I$ , satisfaçam o limite regulamentar (Decreto-Lei n.º 96/2008).

Podem ainda ser definidos critérios complementares de isolamento sonoro a sons de condução aérea ou de percussão. Estes critérios dependem da relação entre a produção de ruído no espaço emissor e do nível ruído de fundo expectável no espaço receptor, não sendo portanto fácil definir valores de referência, podendo ser apenas baseados em valores mais exigentes do que os constantes na regulamentação (que exige apenas valores mínimos de conforto), e/ou propondo requisitos nela não contemplados.

Como exemplos de critérios de conforto que poderá ser desejável garantir em edifícios de habitação podem-se referir os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão:  $D_{nT, w} \geq 40$  dB entre quartos do mesmo fogo e  $L'_{nT, w} \leq 60$  dB entre qualquer compartimento de um fogo e um escritório de outro fogo (situação que não está contemplada no Decreto-Lei n.º 96/2008).

Para caracterizar devidamente o isolamento sonoro dos edifícios de habitação e mistos é necessário avaliar a parede de fachada, as paredes e pavimentos de separação entre quartos e zonas de estar de uma fracção e zonas comuns de circulação, caixas de escada e elevadores, garagens, zonas de comércio e serviços e de outras fracções autónomas.

No caso da parede de fachada necessário proceder-se à determinação dos valores da transmissão sonora entre o exterior e o interior. A caracterização do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior é realizada através da determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado ( $D_{2m, nT, w}$ ).

No caso das paredes e pavimentos interiores é necessário proceder-se à determinação dos valores da transmissão sonora entre o emissor e o receptor, sendo a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea realizada através da determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado ( $D_{nT, w}$ ).

No caso dos pavimentos é ainda necessário avaliar o isolamento sonoro a sons de percussão, entre o recinto emissor e o recinto receptor, através do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado ( $L'_{nT, w}$ ).

<sup>1</sup> Edifícios que para além do uso habitacional integram também comércio, indústria, serviços ou diversão.



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

Neste Anexo são apresentados os resultados da simulação do desempenho dos diferentes edifícios estudados (geometria simples, base e existentes) sob o ponto de vista do desempenho energético, comportamento higrotérmico, acústico, iluminação natural e qualidade do ar interior.

### III.1. Simulação Energética de Edifícios de Geometria Simples

O edifício de geometria simples analisado é, tal como referido no Capítulo 4, constituído por uma zona independente, de forma paralelepipedica com 10 x 8 x 3 m<sup>3</sup>;

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.

#### *1º Parâmetro – Geometria da Zona (x.x.x.x.x.x.idf)*

Foi definida uma geometria única, designada por Hipótese n.º 2:

- Geometria paralelepipedica – 10 x 8 x 3 = 240 m<sup>3</sup>, o maior eixo do edifício atravessa de Este para Oeste, estando a maiores fachadas orientadas a Norte e Sul;

#### *2º Parâmetro – Soluções Construtivas das Paredes da Envolvente (x.x.x.x.x.x.idf)*

Os materiais seleccionados e as soluções construtivas (definidas do exterior para o interior, tal como no EnergyPlus), são as soluções típicas das construções portuguesas.

A espessura final da parede mantém-se aproximadamente igual para as diferentes situações, para assim se obter uma avaliação mais equilibrada das capacidades de resposta de cada solução, bem como, a espessura do isolante térmico.

Hipótese n.º 1:

- Reboco com 2 cm;
- Tijolo Furado com 15 cm;
- Caixa-de-ar de 4 cm, preenchida com 2 cm de poliestireno expandido extrudido (XPS);
- Tijolo Furado com 11 cm;
- Reboco com 2 cm;

Hipótese n.º 2:

- Reboco com 2 cm;
- Tijolo Furado com 11 cm;
- Caixa-de-ar de 4 cm, preenchida com 2 cm poliestireno expandido extrudido;
- Tijolo Furado com 11 cm;
- Reboco com 2 cm;

Hipótese n.º 3:

- Reboco com 2 cm;
- Betão Armado com 10 cm;
- Caixa-de-ar de com 4 cm, preenchida com 2 cm poliestireno expandido extrudido;
- Tijolo Furado com 11 cm;
- Reboco com 2 cm;

Hipótese n.º 4:

- Reboco com 2 cm;
- Poliestireno expandido extrudido com 2 cm;
- Tijolo Furado com 22 cm;
- Reboco com 2 cm;

Hipótese n.º 5:

- Reboco com 2 cm;
- Poliestireno expandido extrudido com 2 cm;
- Betão Armado com 20 cm;
- Reboco com 2 cm;

### ***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. A camada de protecção foi desprezada, uma vez que não é garantida a estanquidade das mesmas. As soluções construtivas consideradas foram:

Hipótese n.º 1:

- Poliestireno expandido extrudido com 5 cm;
- Laje de Betão Armado com 20 cm;

Hipótese n.º 2:

- Poliestireno expandido extrudido com 5 cm;
- Laje Aligeirada de Blocos Cerâmicos com 20 cm e camada de forma;

Hipótese n.º 3:

- Poliestireno expandido extrudido com 5 cm;
- Laje Alveolar com 20 cm e camada de forma;

### ***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 com caixa-de-ar, e posteriormente irão ser introduzidas novas hipóteses para este parâmetro, de modo a otimizar a eficiência energética do edifício.

Hipótese n.º 1:

- Vidro Simples com 6 mm;
- Caixa-de-ar com 10 mm;
- Vidro Simples com 6 mm;

#### ***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, de modo a aproveitar os ganhos solares de Inverno e a reduzir os ganhos de Verão.

A área útil de pavimento é de 80 m<sup>2</sup> (10 m x 8 m), então a área de envidraçados definida foi de 12 m<sup>2</sup> (0,15 x 80 m<sup>2</sup>).

As hipóteses consideradas para a orientação dos envidraçados foram as seguintes:

- Hipótese n.º 1: Envidraçado a Sul com 6 m de largura e 2 m de altura;
- Hipótese n.º 2: Envidraçado a Este com 6 m de largura e 2 m de altura;
- Hipótese n.º 3: Envidraçado a Oeste com 6 m de largura e 2 m de altura;
- Hipótese n.º 4: Dois envidraçados com 3 m de largura e 2 m de altura, um a Este e outro a Oeste;
- Hipótese n.º 5: Envidraçados, com 3 m de largura e 2 m de altura, um colocados a Este e outro a Sul;
- Hipótese n.º 6: Dois envidraçados, cada um com 3 m de largura e 2 m de altura, um localizado a Oeste e outro a Sul;

#### ***6º Parâmetro – Sombreamento dos Envidraçados (x.x.x.x.x.x.idf)***

Foi considerada apenas a existência sistemas de sombreamento fixas, sendo considerada a existência de palas horizontais como sistema de sombreamento dos envidraçados, uma vez que estas são o elemento de sombreamento fixo mais comum. As hipóteses consideradas foram as seguintes:

- Hipótese n.º 1: Sombreamento acima do envidraçado com 80 cm de largura;
- Hipótese n.º 2: Sem sistema de sombreamento fixo;

#### ***7º Parâmetro – Carga Térmica Interior (x.x.x.x.x.x.idf)***

A carga térmica gerada no interior é devida à presença dos ocupantes, pelos equipamentos e pela iluminação. A hipótese considera que esses ganhos ocorrem durante o horário compreendido entre as 9-20h.

Hipótese n.º 1:

- Um ocupante;
- Iluminação contribui com 10 W/m<sup>2</sup>;
- Equipamentos eléctricos contribuem com 10 W/m<sup>2</sup>;
- Ventilação, para a renovação do ar, com uma taxa de circulação de ar por hora de 0.6.

Foram realizadas 180 simulações, usando o programa EnergyPlus, correspondendo às diferentes combinações possíveis para as hipóteses consideradas para os diferentes parâmetros.

Da simulação de todas as iterações que conjugaram os parâmetros anteriormente apresentados, resultaram os valores correspondentes aos consumos energéticos horários, que foram tratados, sendo compilados em consumos energéticos para aquecimento (designados por  $C_i$ ) e para arrefecimento (representados por  $C_v$ ) e globais ( $C_T = C_i + C_v$ ) apresentados na Tabela III.1, na Tabela III.2 e na Tabela III.3.

Tabela III.1 – Consumos energéticos para aquecimento ( $C_i$ ), para arrefecimento ( $C_v$ ) e globais ( $C_T$ )

Iteração	$C_i$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_T$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Iteração	$C_i$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_T$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
2.1.1.1.1.1.1	18,0	22,9	40,9	2.5.3.1.2.1.1	39,5	23,5	63,0
2.1.1.1.1.2.1	13,5	36,0	49,5	2.5.3.1.2.2.1	37,0	30,1	67,1
2.1.2.1.1.1.1	18,2	23,3	41,5	2.1.1.1.3.1.1	26,8	28,9	55,7
2.1.2.1.1.2.1	13,7	36,5	50,2	2.1.1.1.3.2.1	24,7	38,3	63,0
2.1.3.1.1.1.1	19,0	24,5	43,5	2.1.2.1.3.1.1	26,9	29,3	56,2
2.1.3.1.1.2.1	14,5	38,2	13678,0	2.1.2.1.3.2.1	24,7	38,7	63,4
2.2.1.1.1.1.1	18,6	22,7	41,3	2.1.3.1.3.1.1	27,5	30,4	57,9
2.2.1.1.1.2.1	14,0	35,7	49,7	2.1.3.1.3.2.1	25,2	39,9	65,1
2.2.2.1.1.1.1	19,6	23,0	42,6	2.2.1.1.3.1.1	27,4	28,7	56,1
2.2.2.1.1.2.1	14,2	36,2	50,4	2.2.1.1.3.2.1	25,2	38,1	63,3
2.2.3.1.1.1.1	19,6	24,4	43,9	2.2.2.1.3.1.1	27,5	29,1	56,6
2.2.3.1.1.2.1	15,1	37,9	53,0	2.2.2.1.3.2.1	25,3	38,5	63,7
2.3.1.1.1.1.1	19,4	22,7	42,1	2.2.3.1.3.1.1	28,1	30,2	58,3
2.3.1.1.1.2.1	15,1	37,9	53,0	2.2.3.1.3.2.1	25,8	39,6	65,5
2.3.2.1.1.1.1	19,6	23,0	42,6	2.3.1.1.3.1.1	28,2	28,6	56,8
2.3.2.1.1.2.1	15,0	36,0	51,0	2.3.1.1.3.2.1	25,9	37,9	63,8
2.3.3.1.1.1.1	20,4	24,3	44,8	2.3.2.1.3.1.1	28,3	29,0	57,3
2.3.3.1.1.2.1	15,9	37,7	53,6	2.3.2.1.3.2.1	26,0	38,3	64,3
2.4.1.1.1.1.1	24,5	20,8	45,3	2.3.3.1.3.1.1	28,8	30,2	59,0
2.4.1.1.1.2.1	19,5	32,4	51,9	2.3.3.1.3.2.1	26,6	39,5	66,0
2.4.2.1.1.1.1	24,7	21,2	45,9	2.4.1.1.3.1.1	33,3	26,5	59,8
2.4.2.1.1.2.1	19,7	32,9	52,7	2.4.1.1.3.2.1	30,9	35,0	65,9
2.4.3.1.1.1.1	25,7	22,4	48,2	2.4.2.1.3.1.1	33,4	26,9	60,3
2.4.3.1.1.2.1	20,8	34,6	55,3	2.4.2.1.3.2.1	31,0	35,4	66,5
2.5.1.1.1.1.1	30,0	19,0	49,0	2.4.3.1.3.1.1	34,1	28,1	62,2
2.5.1.1.1.2.1	24,6	29,3	53,9	2.4.3.1.3.2.1	31,7	36,7	68,4
2.5.2.1.1.1.1	30,2	19,4	49,6	2.5.1.1.3.1.1	38,7	24,4	63,1
2.5.2.1.1.2.1	24,8	29,8	54,6	2.5.1.1.3.2.1	36,2	32,1	68,3
2.5.3.1.1.1.1	31,1	20,5	51,7	2.5.2.1.3.1.1	38,8	24,8	63,6
2.5.3.1.1.2.1	25,8	31,2	57,0	2.5.2.1.3.2.1	36,3	32,6	68,9
2.1.1.1.2.1.1	27,0	26,3	53,3	2.5.3.1.3.1.1	39,5	25,9	65,4
2.1.1.1.2.2.1	24,8	34,3	59,1	2.5.3.1.3.2.1	36,9	33,8	70,7
2.1.2.1.2.1.1	27,1	26,7	53,8	2.1.1.1.4.1.1	26,6	28,0	54,6
2.1.2.1.2.2.1	24,9	34,7	59,6	2.1.1.1.4.2.1	24,7	36,1	60,8
2.1.3.1.2.1.1	27,6	27,8	55,4	2.1.2.1.4.1.1	26,7	28,3	55,1
2.1.3.1.2.2.1	25,4	35,8	61,2	2.1.2.1.4.2.1	24,8	36,5	61,3

Tabela III.2 – Consumos energéticos para aquecimento ( $C_v$ ), para arrefecimento ( $C_r$ ) e globais ( $C_t$ ), Cont.

Iteração	$C_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_r$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_t$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Iteração	$C_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_r$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_t$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
2.2.1.1.2.1.1	27,5	26,1	53,7	2.1.3.1.4.1.1	27,3	29,4	56,7
2.2.1.1.2.2.1	25,3	34,0	59,3	2.1.3.1.4.2.1	25,3	37,7	63,0
2.2.2.1.2.1.1	27,6	26,5	54,2	2.2.1.1.4.1.1	27,2	27,8	55,0
2.2.2.1.2.2.1	25,4	34,4	59,8	2.2.1.1.4.2.1	25,2	35,9	61,1
2.2.3.1.2.1.1	28,2	27,6	55,8	2.2.2.1.4.1.1	27,3	28,2	55,5
2.2.3.1.2.2.1	26,0	35,6	61,5	2.2.2.1.4.2.1	25,3	36,3	61,6
2.3.1.1.2.1.1	28,3	26,1	54,4	2.2.3.1.4.1.1	27,9	29,3	57,1
2.3.1.1.2.2.1	26,0	33,9	60,0	2.2.3.1.4.2.1	25,9	37,4	63,3
2.3.2.1.2.1.1	28,4	26,5	54,9	2.3.1.1.4.1.1	27,9	27,7	55,7
2.3.2.1.2.2.1	26,2	34,3	60,5	2.3.1.1.4.2.1	26,0	35,8	61,7
2.3.3.1.2.1.1	29,0	27,6	56,6	2.3.2.1.4.1.1	28,0	28,1	56,1
2.3.3.1.2.2.1	26,7	35,5	62,2	2.3.2.1.4.2.1	26,1	36,2	62,2
2.4.1.1.2.1.1	33,4	24,0	57,3	2.3.3.1.4.1.1	28,6	29,2	57,8
2.4.1.1.2.2.1	31,0	31,2	62,1	2.3.3.1.4.2.1	26,6	37,3	63,9
2.4.2.1.2.1.1	33,5	24,4	57,9	2.4.1.1.4.1.1	33,0	25,5	58,6
2.4.2.1.2.2.1	31,1	31,6	62,7	2.4.1.1.4.2.1	30,9	32,9	63,8
2.4.3.1.2.1.1	34,1	25,5	59,7	2.4.2.1.4.1.1	33,2	25,9	59,1
2.4.3.1.2.2.1	31,8	32,8	64,6	2.4.2.1.4.2.1	31,0	33,4	64,4
2.5.1.1.2.1.1	38,8	22,1	60,8	2.4.3.1.4.1.1	33,8	27,1	60,9
2.5.1.1.2.2.1	36,3	28,5	64,8	2.4.3.1.4.2.1	31,7	34,6	66,3
2.5.2.1.2.1.1	38,9	22,4	61,3	2.5.1.1.4.1.1	38,5	23,5	61,9
2.5.2.1.2.2.1	36,4	28,9	65,3	2.5.1.1.4.2.1	36,2	30,2	66,4
2.5.2.1.4.1.1	38,6	23,8	62,4	2.5.3.1.5.1.1	34,8	22,3	57,1
2.5.2.1.4.2.1	36,3	30,6	66,9	2.5.3.1.5.2.1	31,0	30,4	61,4
2.5.3.1.4.1.1	39,2	25,0	64,2	2.1.1.1.6.1.1	21,9	26,2	48,1
2.5.3.1.4.2.1	36,9	31,8	68,7	2.1.1.1.6.2.1	18,6	36,7	55,4
2.1.1.1.5.1.1	21,9	25,0	46,9	2.1.2.1.6.1.1	22,0	26,6	48,6
2.1.1.1.5.2.1	18,7	34,7	53,5	2.1.2.1.6.2.1	18,8	37,2	55,9
2.1.2.1.5.1.1	22,1	25,4	47,4	2.1.3.1.6.1.1	22,7	27,8	50,5
2.1.2.1.5.2.1	18,8	35,2	54,0	2.1.3.1.6.2.1	19,4	38,5	57,9
2.1.3.1.5.1.1	22,8	26,5	49,3	2.2.1.1.6.1.1	22,4	26,1	48,5
2.1.3.1.5.2.1	19,5	36,5	56,0	2.2.1.1.6.2.1	19,2	36,4	55,6
2.2.1.1.5.1.1	23,3	24,7	48,0	2.2.2.1.6.1.1	22,6	26,5	49,0
2.2.1.1.5.2.1	19,2	34,5	53,7	2.2.2.1.6.2.1	19,3	36,9	56,2
2.2.2.1.5.1.1	22,6	25,2	47,8	2.2.3.1.6.1.1	23,3	27,7	50,9
2.2.2.1.5.2.1	19,4	34,9	54,3	2.2.3.1.6.2.1	20,0	38,3	58,2
2.2.3.1.5.1.1	23,4	26,4	49,7	2.3.1.1.6.1.1	23,2	26,0	49,2
2.2.3.1.5.2.1	20,1	36,2	56,3	2.3.1.1.6.2.1	19,9	36,3	56,2
2.3.1.1.5.1.1	23,3	24,7	48,0	2.3.2.1.6.1.1	23,4	26,4	49,8
2.3.1.1.5.2.1	20,0	34,3	54,3	2.3.2.1.6.2.1	20,1	36,7	56,8

Tabela III.3 – Consumos energéticos para aquecimento ( $C_i$ ), para arrefecimento ( $C_v$ ) e globais ( $C_T$ ), Cont.

Iteração	$C_i$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_T$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Iteração	$C_i$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_T$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
2.3.2.1.5.1.1	23,4	25,1	48,6	2.3.3.1.6.1.1	24,1	27,6	51,7
2.3.2.1.5.2.1	20,1	34,8	54,9	2.3.3.1.6.2.1	20,8	38,1	58,9
2.3.3.1.5.1.1	24,2	26,3	50,5	2.4.1.1.6.1.1	28,3	23,9	52,3
2.3.3.1.5.2.1	20,8	36,1	57,0	2.4.1.1.6.2.1	24,7	33,3	58,1
2.4.1.1.5.1.1	28,4	22,7	51,1	2.4.2.1.6.1.1	28,5	24,3	52,8
2.4.1.1.5.2.1	24,8	31,4	56,2	2.4.2.1.6.2.1	24,9	33,8	58,8
2.4.2.1.5.1.1	28,6	23,1	51,7	2.4.3.1.6.1.1	29,3	25,6	54,9
2.4.2.1.5.2.1	25,0	31,9	56,9	2.4.3.1.6.2.1	25,8	35,3	61,0
2.4.3.1.5.1.1	29,4	24,3	53,7	2.5.1.1.6.1.1	33,8	21,9	55,8
2.4.3.1.5.2.1	25,9	33,3	59,2	2.5.1.1.6.2.1	30,0	30,5	60,4
2.5.1.1.5.1.1	33,9	20,8	54,7	2.5.2.1.6.1.1	34,0	22,3	56,3
2.5.1.1.5.2.1	30,0	28,7	58,7	2.5.2.1.6.2.1	30,2	30,9	61,0
2.5.2.1.5.1.1	34,0	21,2	55,2	2.5.3.1.6.1.1	34,7	23,5	58,2
2.5.2.1.5.2.1	30,2	29,1	59,3	2.5.3.1.6.2.1	31,0	32,2	63,2

De seguida apresentam-se os resultados das diferentes análises efectuadas, que permitem comparar as diversas soluções. As diferentes simulações foram efectuadas fazendo variar um parâmetro de cada vez.

Foi também calculado um índice de eficiência energética relativa para 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 Tabela III.4, representam-se os resultados relativos à comparação das soluções construtivas das paredes exteriores.

Tabela III.4 – Consumos energéticos das diferentes soluções construtivas da parede exterior

Iteração	$C_i$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_T$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)		
				$C_i$	$C_v$	$C_T$
2.1.1.1.1.1.1	18,0	22,9	40,9	100	100	100
2.2.1.1.1.1.1	18,6	22,7	41,3	103	99	101
2.3.1.1.1.1.1	19,4	22,7	42,1	107	99	103
2.4.1.1.1.1.1	24,5	20,8	45,3	127	91	110
2.5.1.1.1.1.1	30,0	19,0	49,0	140	83	117

#### Variação da Solução construtiva da Laje de Cobertura

Na Tabela III.5 apresentam-se os resultados da análise da influência de diferentes soluções construtivas para a laje de cobertura para o comportamento térmico do edifício de geometria simples estudado.



Tabela III.5 – Consumos energéticos das diferentes soluções construtivas da laje de cobertura

Iteração	C <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)		
				C <sub>i</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>r</sub>
2.1.1.1.1.1.1	18,0	22,9	40,9	100	100	100
2.1.2.1.1.1.1	18,2	23,3	41,5	101	102	101
2.1.3.1.1.1.1	19,0	24,5	43,5	105	107	106

### Varição da Características dos Envidraçados

O efeito da orientação dos envidraçados e da área de envidraçado por orientação é apresentada na Tabela III.6, sendo o sistema de sombreamento constituído por palas horizontais e na Tabela III.7 se não existirem sistemas de sombreamento.

Tabela III.6 – Consumos energéticos em função da orientação dos envidraçados com sistema de sombreamento

Iteração	C <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)		
				C <sub>i</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>r</sub>
2.1.1.1.1.1.1	18,0	22,9	40,9	100	100	100
2.1.1.1.2.1.1	27,0	26,3	53,3	133	113	123
2.1.1.1.3.1.1	26,8	28,9	55,7	133	121	127
2.1.1.1.4.1.1	26,6	28,0	54,6	132	118	125
2.1.1.1.5.1.1	21,9	25,0	46,9	118	108	113
2.1.1.1.6.1.1	21,9	26,2	48,1	118	113	115

Tabela III.7 – Consumos energéticos em função da orientação dos envidraçados sem sistema de sombreamento

Iteração	C <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)		
				C <sub>i</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>r</sub>
2.1.1.1.1.1.1	13,5	36,0	49,5	100	100	100
2.1.1.1.2.1.1	24,8	34,3	59,1	146	95	116
2.1.1.1.3.1.1	24,7	38,3	63,0	145	106	121
2.1.1.1.4.1.1	24,7	36,1	60,8	145	100	119
2.1.1.1.5.1.1	18,7	34,7	53,5	128	97	107
2.1.1.1.6.1.1	18,6	36,7	55,4	128	102	111

Na Tabela III.8 compara-se o efeito do sistema de sombreamento para envidraçados orientados a Sul, com e sem sistema de sombreamento (pala horizontal), nos consumos energéticos do edifício de geometria simples.

Tabela III.8 – Consumos energéticos em função da existência ou não de sistema de sombreamento, para envidraçados orientados a Sul

Iteração	C <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)		
				C <sub>i</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>r</sub>
2.1.1.1.1.1.1	18,0	22,9	40,9	100	100	100
2.1.1.1.1.2.1	13,5	36,0	49,5	75	136	117

### Implicação relativa das diversas variações analisadas

O peso relativo de cada um dos parâmetros é apresentado na Tabela III.9, comparando a máxima variação de eficiência, para as necessidades energéticas anuais, que cada solução pode conduzir, de modo a que os requisitos mínimos definidos no RCCTE sejam respeitados (RCCTE, 2006).

Tabela III.9 – Importância relativa de cada variação implementada

Varição	Máxima Eficiência	Varição Máxima (%)	Importância Relativa (%)
Fachada	Hipótese 1	17	19
Cobertura	Hipótese 1	6	7
Disposição dos envidraçados, com sombreamento	Hipótese 1	27	31
Disposição dos envidraçados, sem sombreamento	Hipótese 1	21	24
Sombreamento	Hipótese 1	17	19

### Alteração da localização geográfica

Na Tabela III.10 apresentam-se os consumos energéticos do edifício de geometria simples localizado em diferentes cidades, para a hipótese com melhor desempenho (2.1.1.1.1.1),

Tabela III.10 – Consumos energéticos para diferentes localizações

Iteração	C <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)		
				C <sub>i</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>r</sub>
Bragança	43,5	25,8	69,3	159	111	141
Porto	18,0	22,9	40,9	100	100	100
Lisboa	4,9	48,3	53,2	27	153	123
Faro	2,4	61,9	64,3	13	163	136

### III.1.1. Optimização da Eficiência Energética

Após o estudo realizado foram avaliadas diferentes formas de otimizar os consumos energéticos de aquecimento e arrefecimento do edifício de geometria simples, sendo também definida uma solução otimizada para as soluções construtivas.

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE AQUECIMENTO ( $C_i$ )

Para a optimização do desempenho do edifício de Inverno foi considerado o efeito da geometria do edifício, do nível de isolamento da fachada, da solução construtiva dos envidraçados e da orientação do edifício.

### Alteração do isolamento térmico da parede de fachada

Os consumos energéticos em função do nível de isolamento térmico da parede de fachada são apresentados na Tabela III.11.

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 (2.1.1.1.1.2.1.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.

Tabela III.11 – Comparação dos consumos energéticos de aquecimento alterando a espessura de isolamento térmico da parede exterior

Iteração	$C_i$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
		$C_i$
2.1.1.1.1.2.1	13,5	100
2.1.1.1.1.2.1.b1	12,2	90
2.1.1.1.1.2.1.b2	12,5	93
2.1.1.1.1.2.1.b3	11,4	84
2.1.1.1.1.2.1.b4	9,2	68
2.1.1.1.1.2.1.b5	13,2	98

### Alteração da solução construtiva dos envidraçados

Os resultados obtidos considerando a 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 optimizar o comportamento térmico na estação de aquecimento, são apresentados na Tabela III.12.

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.

Tabela III.12 – Consumos energéticos para diferentes soluções construtivas do envidraçado na estação de aquecimento

Iteração	C <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
		C <sub>i</sub>
2.1.1.1.1.2.1.b4	9,2	100
2.1.1.1.1.2.1.c1	8,6	93
2.1.1.1.1.2.1.c2	9,2	100
2.1.1.1.1.2.1.c3	8,8	96
2.1.1.1.1.2.1.c4	11,9	129

### Alteração da orientação do edifício

Os resultados obtidos para diferentes orientações do edifício (considerado diferentes variações do ângulo que o edifício faz com o Norte) são apresentados na Tabela III.13. As hipóteses consideradas foram as 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.

Tabela III.13 – Consumos energéticos de aquecimento em função da orientação da fachada com envidraçado

Iteração	Rotação do edifício a partir do Norte, positivo para Este	C <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
			C <sub>i</sub>
2.1.1.1.1.2.1.c1	0°	8,6	100
2.1.1.1.1.2.1.d1	10°	8,8	102
2.1.1.1.1.2.1.d2	- 10°	8,8	102
2.1.1.1.1.2.1.d3	20°	9,4	109

### EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ARREFECIMENTO (C<sub>v</sub>)

Para a optimização do desempenho do edifício de Verão foi também considerado o efeito da geometria do edifício, das soluções construtivas e do nível de isolamento da fachada, da solução construtiva dos envidraçados, da geometria do sistema de sombreamento fixo e da orientação do edifício, partindo da iteração inicial (2.5.1.1.1.1.1).

### 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 de arrefecimento do edifício de geometria simples para diferentes espessuras de betão e de isolamento térmico são apresentados na Tabela III.14.

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

Iteração	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
		C <sub>r</sub>
2.1.1.1.1.2.1	19,0	100
2.5.1.1.1.1.1.b1	21,4	111
2.5.1.1.1.1.1.b2	18,0	95
2.5.1.1.1.1.1.b3	19,1	101
2.5.1.1.1.1.1.b4	19,0	100

#### 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 (2.5.1.1.1.1.1.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 Tabela III.15.

Tabela III.15 – Consumos energéticos de arrefecimento alterando a solução construtiva dos envidraçados na estação de arrefecimento

Iteração	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
		C <sub>r</sub>
2.5.1.1.1.1.1.b3	19,1	100
2.5.1.1.1.1.1.c1	19,4	102
2.5.1.1.1.1.1.c2	19,1	100
2.5.1.1.1.1.1.c3	19,3	101

### Alteração da orientação do edifício

Os resultados obtidos da avaliação da influência de pequenas variações da orientação do edifício (considerando a rotação do edifício para Este positiva) são apresentados na Tabela III.16, para 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.

Tabela III.16 – Consumos energéticos em função da orientação da fachada com envidraçados na estação de arrefecimento

Iteração	Rotação do edifício a partir do Norte, positivo para Este	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
			C <sub>t</sub>
2.5.1.1.1.1.1.b3	0°	19,1	100
2.5.1.1.1.1.1.d1	10°	19,5	102
2.5.1.1.1.1.1.d2	- 10°	19,3	101
2.5.1.1.1.1.1.d3	20°	20,6	107

### Alteração da geometria do sistema de sombreamento fixo

Os resultados obtidos para diferentes dimensões da pala são apresentados na Tabela III.17. As hipóteses consideradas foram as seguintes:

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.

Tabela III.17 – Consumos energéticos de arrefecimento em função das dimensões da pala horizontal

Iteração	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
		C <sub>t</sub>
2.5.1.1.1.1.1.b3	19,1	100
2.5.1.1.1.1.1.e1	18,5	97
2.5.1.1.1.1.1.e2	18,0	94
2.5.1.1.1.1.1.e3	20,0	105

### EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ANUAL (C<sub>t</sub>)

Foram também estudadas as formas de, anualmente, melhorar o desempenho energético do edifício, partindo da iteração 2.1.1.1.1.1, que é a situação com menores consumos energéticos anuais.

O estudo foi realizado, tal como para a optimização das necessidades de aquecimento e arrefecimento, através da análise do efeito da geometria do edifício, da orientação do edifício do nível do isolamento

térmico da parede de fachada, da solução construtiva dos envidraçados, da geometria do envidraçado e da geometria do sistema de sombreamento fixo

As diversas situações estudadas são apresentadas de seguida.

### Alteração do isolamento térmico da parede de fachada

Os consumos energéticos em função do nível de isolamento térmico da parede de fachada são apresentados na Tabela III.18. Foram consideradas as situações seguintes (2.1.1.1.1.1.bi), para a análise do efeito do aumento da espessura de isolamento térmico, variando também a espessura da caixa-de-ar, mantendo a solução construtiva da parede de fachada:

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.

Tabela III.18 – Consumos energéticos anuais alterando a espessura da caixa-de-ar e do isolamento térmico da parede exterior

Iteração	C <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>t</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)		
				C <sub>i</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>t</sub>
2.1.1.1.1.1.1	18,0	22,9	40,9	100	100	100
2.1.1.1.1.1.b1	16,6	23,4	40,0	92	102	98
2.1.1.1.1.1.b2	16,9	23,3	40,2	94	102	98
2.1.1.1.1.1.b3	13,2	24,8	38,0	73	108	93
2.1.1.1.1.1.b4	17,7	23,0	40,7	98	101	99

### Alteração da solução construtiva dos envidraçados

Os consumos energéticos em função da espessura da caixa-de-ar e do vidro são apresentados na Tabela III.19. As diferentes hipóteses relativas à solução construtiva dos envidraçados foram as seguintes, 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.b3):

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.

Tabela III.19 – Consumos energéticos anuais alterando a solução construtiva dos envidraçados

Iteração	C <sub>t</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
		C <sub>t</sub>
2.1.1.1.1.1.b3	38,0	100
2.1.1.1.1.1.c1	37,8	99,5
2.1.1.1.1.1.c2	38,0	99,9
2.1.1.1.1.1.c3	37,9	99,6

### 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, cujos resultados obtidos são apresentados na Tabela III.20, sendo a solução construtiva base a hipótese b3:

Hipótese d1: rodar o edifício de 10° em relação ao Norte;

Hipótese d2: rodar o edifício de -10° em relação ao Norte.

Tabela III.20 – Consumos energéticos anuais em função da orientação da fachada com envidraçados

Iteração	Rotação do edifício a partir do Norte, positivo para Este	C <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
			C <sub>i</sub>
2.1.1.1.1.1.b3	0°	38,0	100
2.1.1.1.1.1.d1	10°	38,6	102
2.1.1.1.1.1.d2	- 10°	38,3	101

### Alteração da geometria do envidraçado

Os resultados relativos ao efeito da alteração da geometria do envidraçado, mantendo a área constante, na eficiência energética do edifício, são apresentados na Tabela III.21 (a 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.

Tabela III.21 – Consumos energéticos de arrefecimento em função das dimensões do envidraçado

Iteração	C <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
		C <sub>i</sub>
2.1.1.1.1.1.b3	38,0	100
2.1.1.1.1.1.e1	37,0	97
2.1.1.1.1.1.e2	39,23	103

### Alteração da geometria do sistema de sombreamento fixo

Para avaliar a influência, nos consumos energéticos anuais das dimensões das palas horizontais, foram consideradas 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 Tabela III.22, tendo por base a hipótese e1.



Tabela III.22 – Consumos energéticos anuais em função das dimensões da pala horizontal

Iteração	$C_r$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Eficiência Relativa (%)
		$C_i$
2.1.1.1.1.1.1.e1	37,0	100
2.1.1.1.1.1.1.f1	37,0	100
2.1.1.1.1.1.1.f2	37,0	100,1
2.5.1.1.1.1.1.f3	37,3	100,7

### III.2. Simulação do Comportamento Higrotérmico das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais

#### III.2.1. Simulação utilizando o programa Comis Studio

Para o estudo realizado utilizando o programa Comis Studio, foi necessário estudar o projecto das CTEñC (plantas e alçados), de modo a definir os Nós representativos das zonas que compõem as Células Teste (Nodes).

No Comis Studio e ao contrário do que acontece com a definição de zonas no EnergyPlus, a definição de zonas não depende do tipo de materiais, sendo a identificação e caracterização atribuída a cada compartimento independentemente dos materiais que constituem os seus elementos construtivos.

Cada Nó definido no Comis Studio representa um compartimento, de seguida foi necessário estabelecer a tipologia de ligações entre os diferentes Nós. Os Nós podem estar ligados ao exterior ou em contacto com outros Nós, sendo no segundo caso imperativo identificar que tipo de ligação ocorre entre os diferentes compartimentos.

Nas CTEñC 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).

A ligação entre os compartimentos e o exterior pode ser efectuada por possíveis fissuras dos elementos construtivos, por portas de circulação ou por janelas.

O software utiliza esta terminologia, definindo as ligações por Fachada (fachada/parede exterior), Door ou Window (porta ou janela), sendo no entanto necessário que o último elemento de ligação seja a fachada (Facade), podendo variar a forma como está prevista a circulação do ar mas, esta terá sempre de estar associada a uma parede exterior (Facade).

Assim, independentemente do número e tipo de ligações que possam existir entre os diferentes compartimentos, estas têm sempre de convergir para uma das quatro paredes exteriores (Facade), caracterizadas pela orientação, Facade Norte; Facade Este; Facade Sul; Facade Oeste.

A caracterização dos elementos de circulação de ar ficou concluída com a atribuição dos valores correspondentes à sua geometria, de realçar que o programa para uma correcta simulação impõe que todos os Nós possuam pelo menos uma ligação com o nó adjacente. Não existindo aberturas, portas, janelas, ductos, a ligação entre os nós será realizada através de fissuras.

Após a identificação e caracterização da tipologia de ligações o modelo foi definido estabelecendo quatro ligações a partir de cada compartimento, que formarão um diagrama representativo do edifício em estudo, representado parcialmente na Figura III.1.

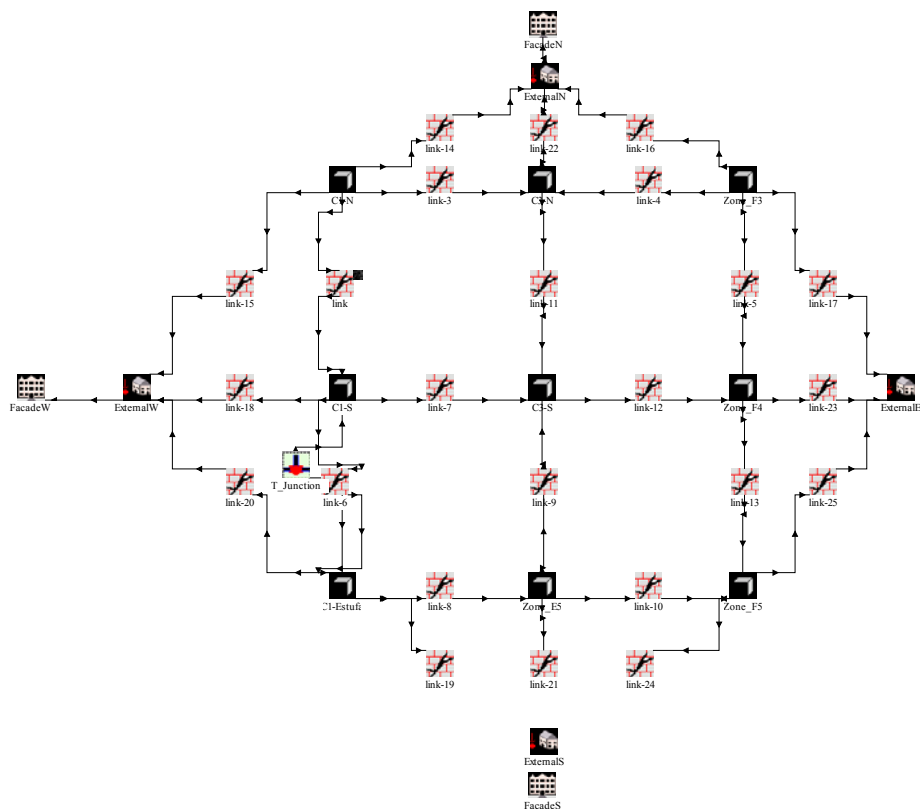


Figura III.1 – Excerto da rede de Nós utilizada na simulação com o programa Comis Studio

Assim, a circulação de ar entre o exterior e o interior das diversas zonas das CTEñC ocorre através de portas e janelas e entre as diversas células ocorre através das portas de ligação entre as diferentes zonas das CTEñC. Além disso, entre a estufa da célula não convencional (zona 1) e a zona Norte da mesma célula (zona 3) o movimento de ar ocorre também através do espaço de ar existente entre o tecto da zona Sul e a tecto da zona Norte que é prolongado até à zona Sul. Este espaço de ar foi considerado como um ducto.

Com o modelo devidamente representado inicia-se a simulação, definida pelo programa como o comando Run, para a obtenção dos resultados pretendidos.

Na Tabela III.23 e na Tabela III.24 listam-se os valores dos fluxos de ar entre as diversas zonas, obtidos através da simulação usando o programa Comis Studio, 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.

Tabela III.23 – Valores dos fluxos predominantes entre os diferentes Zonas das CTEñC para o Inverno

Fluxo da Zona	Através	Para a Zona	kg/s	m³/s	Área [m2]	m³/s-m²
Zona B3	Porta 4	Zona B2	0.03	0.03	1.44	0.02
Zona B2	Porta 4	Zona B3	0.08	0.07	1.44	0.05
Zona B2	Porta 5	Zona B 1	0.04	0.03	1.32	0.03
Zona B1	Porta 5	Zona B 2	0.09	0.08	1.32	0.06
Zona A1	Porta 3	Zona B1	0.00	0.00	1.32	0.00
Zona B1	Porta 3	Zona A1	0.12	0.10	1.32	0.07
Zona C3	Porta 8	Zona C2	0.09	0.07	3.16	0.02
Zona C2	Porta 8	Zona C3	0.12	0.10	3.16	0.03
Zona C2	Porta 9	Zona C1	0.05	0.04	2.05	0.02
Zona C1	Porta 9	Zona C2	0.08	0.06	2.05	0.03
Zona C4	Porta 10	Zona C1	0.01	0.01	2.05	0.00
Zona C1	Porta 10	Zona C4	0.03	0.02	2.05	0.01
Zona C1	Porta 7	Zona B1	0.03	0.03	1.32	0.02
Zona B1	Porta 7	Zona C1	0.08	0.07	1.32	0.05
Fachada N	Porta 2	Zona A1	0.42	0.34	1.77	0.19
Zona A1	Porta 2	Fachada N	0.03	0.02	1.77	0.01
Zona B1	Porta 6	Fachada N	0.07	0.06	1.75	0.03
Fachada N	Porta 6	Zona B1	0.29	0.24	1.75	0.13
Fachada N	Janela 4	Zona C4	0.18	0.14	0.64	0.22
Zona C4	Janela 4	Fachada N	0.19	0.16	0.64	0.24
Fachada S	Janela 3	Zona C3	5.19	4.23	9.15	0.46
Zona C3	Janela 3	Fachada S	5.22	4.26	9.15	0.47
Zona A3	Porta 1	Zona A2	0.04	0.03	1.12	0.03
Zona A2	Porta 1	Zona A3	0.03	0.03	1.12	0.03
Fachada S	Janela 2	Zona B3	5.18	4.22	9.15	0.46
Zona B3	Janela 2	Fachada S	5.23	4.27	9.15	0.47
Fachada S	Janela 1	Zona A3	4.96	4.05	9.15	0.44
Zona A3	Janela 1	Fachada S	5.46	4.46	9.15	0.49
Zona A3	Ducto	Zona A1	0.00	0.00	1.10	0.00
Zona A1	Ducto	Zona A3	0.50	0.41	1.10	0.37

Tabela III.24 – Valores dos fluxos predominantes entre as diferentes Zonas das CTEñC para um dia de Verão

Fluxo da Zona	Através da	Para a Zona	kg/s	m³/s	Área [m²]	m³/s-m²
Zona B3	Porta 4	Zona B2	0,09	0,08	1,44	0,05
Zona B2	Porta 4	Zona B3	0,18	0,15	1,44	0,10
Zona B2	Porta 5	Zona B 1	0,03	0,02	1,32	0,02
Zona B1	Porta 5	Zona B 2	0,11	0,09	1,32	0,07
Zona A1	Porta 3	Zona B1	0,00	0,00	1,32	0,00
Zona B1	Porta 3	Zona A1	0,43	0,35	1,32	0,27
Zona C3	Porta 8	Zona C2	0,15	0,12	3,16	0,04
Zona C2	Porta 8	Zona C3	0,47	0,38	3,16	0,12
Zona C2	Porta 9	Zona C1	0,00	0,00	2,05	0,00
Zona C1	Porta 9	Zona C2	0,32	0,26	2,05	0,13
Zona C4	Porta 10	Zona C1	0,42	0,34	2,05	0,17
Zona C1	Porta 10	Zona C4	0,00	0,00	2,05	0,00
Zona C1	Porta 7	Zona B1	0,10	0,08	1,32	0,06
Zona B1	Porta 7	Zona C1	0,00	0,00	1,32	0,00
Fachada N	Porta 2	Zona A1	0,70	0,57	1,77	0,32
Zona A1	Porta 2	Fachada N	0,00	0,00	1,77	0,00
Zona B1	Porta 6	Fachada N	0,00	0,00	1,75	0,00
Fachada N	Porta 6	Zona B1	0,42	0,34	1,75	0,20
Fachada N	Janela 4	Zona C4	0,42	0,34	0,64	0,53
Zona C4	Janela 4	Fachada N	0,00	0,00	0,64	0,00
Fachada S	Janela 3	Zona C3	5,87	4,79	9,15	0,52
Zona C3	Janela 3	Fachada S	6,19	5,05	9,15	0,55
Zona A3	Porta 1	Zona A2	0,11	0,09	1,12	0,08
Zona A2	Porta 1	Zona A3	0,11	0,09	1,12	0,08
Fachada S	Janela 2	Zona B3	5,99	4,89	9,15	0,53
Zona B3	Janela 2	Fachada S	6,08	4,96	9,15	0,54
Fachada S	Janela 1	Zona A3	5,46	4,46	9,15	0,49
Zona A3	Janela 1	Fachada S	6,61	5,39	9,15	0,59
Zona A3	Duct	Zona A1	1,14	0,93	1,10	0,85
Zona A1	Duct	Zona A3	0,00	0,00	1,10	0,00

### III.2.2. Simulação com o Programa EnergyPlus, 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 identificadas na Figura III.2), para o mesmo período do ano.

Na Figura III.3 apresenta-se a perspectiva das Células Teste de Edifícios Não-Convencionais, obtidas após a simulação usando o EnergyPlus.

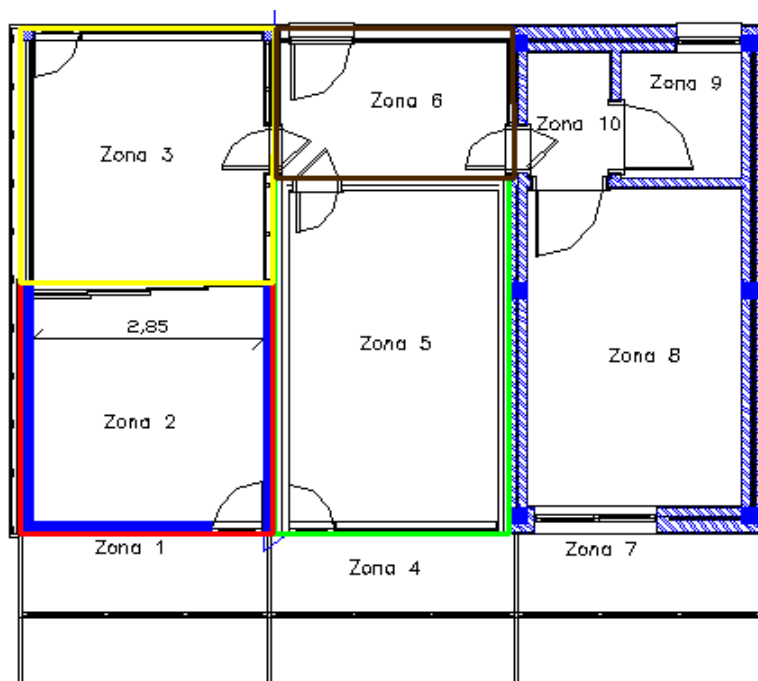


Figura III.2 – Representação das diferentes zonas das Células de Teste de Edifícios Não-Convencionais, CTEñC

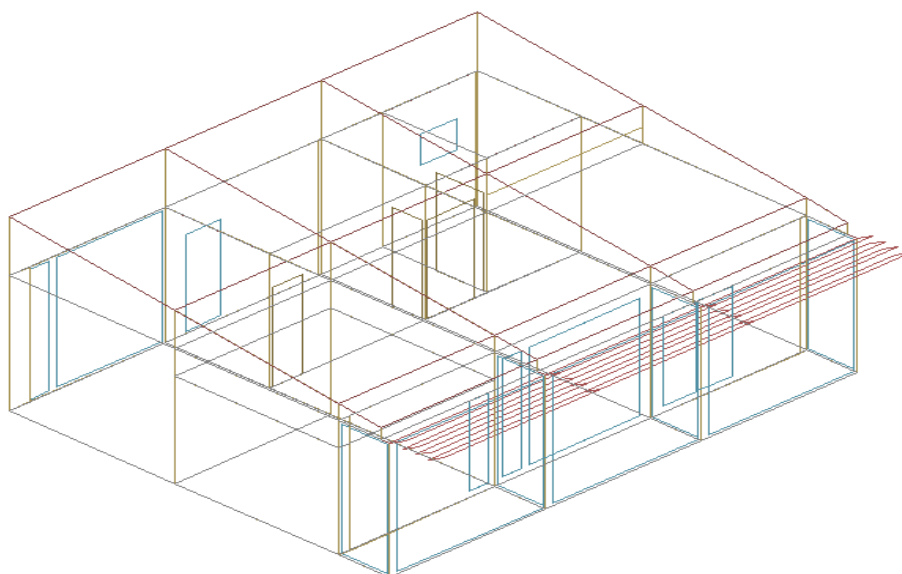


Figura III.3 – Representação das Células Teste de Edifícios Não-Convencionais em perspectiva

Para a contabilização da acção do vento no edifício em estudo, foi necessário determinar os coeficientes de pressão ( $c_p$ -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).

Para considerar o efeito da acção do vento nas Células Teste de Edifícios Não-Convencionais, através dos coeficientes de pressão em cada fachada, para tal, usando os dados climáticos medidos in situ foi verificada qual era a direcção do vento ao longo do ano. Os resultados obtidos são apresentados na Figura III.4, verificando-se que a menor incidência do vento é a Norte e a maior incidência é a Nordeste e predominantemente a Sul.

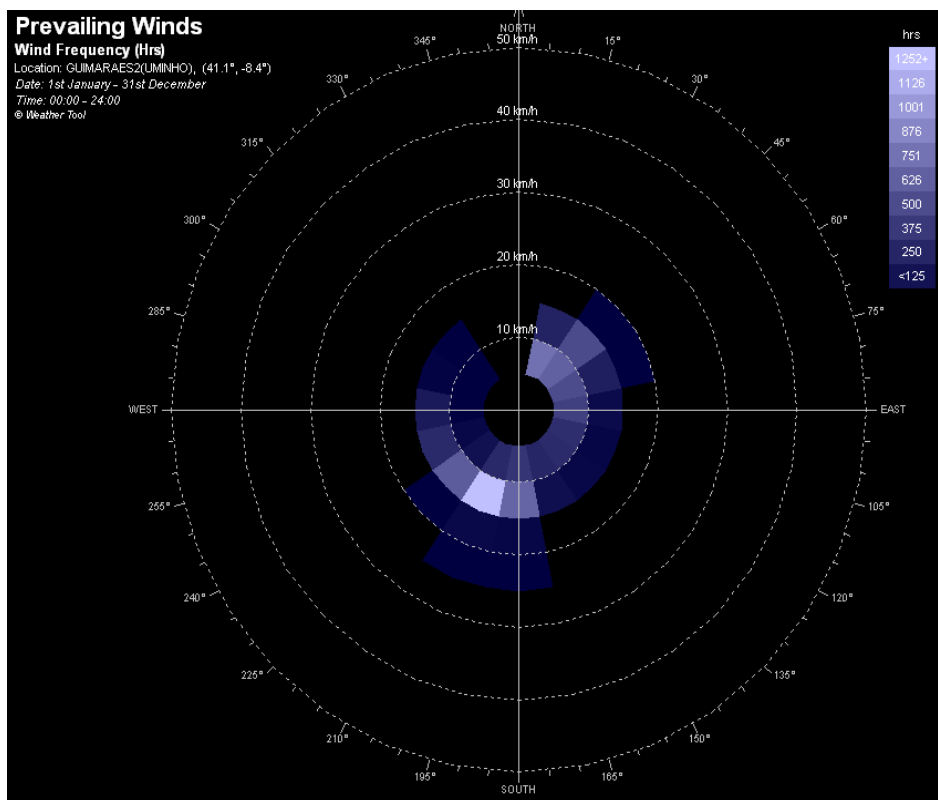


Figura III.4 – Distribuição relativa da incidência do vento ao longo do ano em Azurém, Guimarães

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.

Na Figura III.5 está representada a temperatura ambiente exterior nos dois períodos analisados.

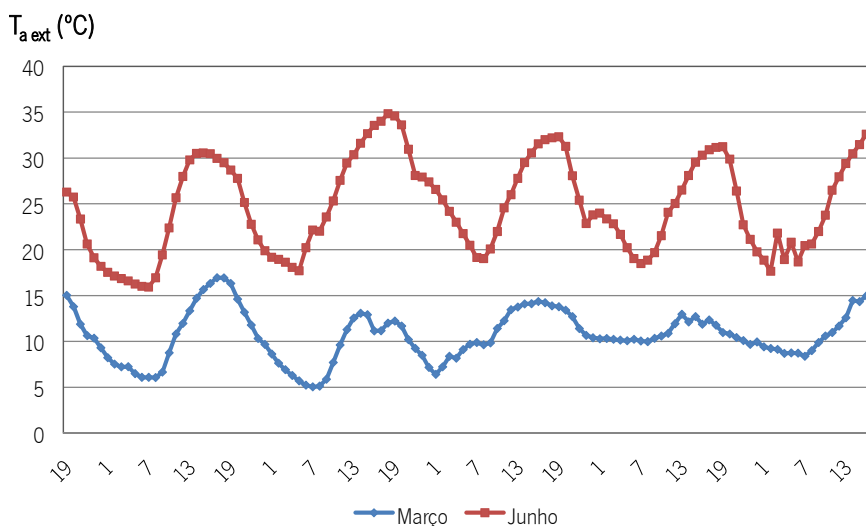


Figura III.5 – Temperatura ambiente exterior de 26 a 31 de Março e de 11 a 16 de Junho

A temperatura ambiente está representada em ordenadas, e em abcissas está representada a hora de simulação.

Em Março a temperatura exterior variou entre 5°C e 17°C e em Junho a temperatura ambiente exterior mínima registada foi de 16°C e a temperatura máxima de 35°C, tal como mostra a Figura III.5.

Os dados climáticos medidos no interior das CTEñC foram comparados com os dados obtidos por simulação. Foi calculada a diferença mínima, a diferença máxima, a média da diferença, o desvio padrão e a diferença quadrática (Tabela III.25 e Tabela III.26).

A diferença entre os valores estimados e medidos foi realizado com base nos valores horários. A diferença média,  $D_m$ , é dada pela Equação (III.1) e a diferença quadrática,  $D_q$ , é obtida pela Equação (III.2):

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \quad \text{Equação (III.1)}$$

$$D_q = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação (III.2)}$$

Em que:

- $D_m$  - é a diferença média (°C);
- $D_q$  - é a diferença quadrática (°C);
- $y_i$  - é a temperatura horária medida nas células de teste (°C)
- $x_i$  - é a temperatura horária obtida por simulação (°C);
- $N$  - é o número de medições.

Tabela III.25 - Comparação dos dados medidos in situ e estimados no período entre 26 e 31 de Março

Zona	Diferença Mínima	Diferença Máxima	Diferença Média	Desvio Padrão	Diferença Quadrática
Zona Sul da célula não convencional (Zona 2)	-1,16	1,32	0,27	0,78	0,82
Zona Norte da célula não convencional (Zona 3)	0,41	0,89	0,64	0,12	0,65
Zona Sul da célula Passys (Zona 5)	-1,48	1,54	1,02	0,70	1,24
Zona Norte da célula Passys (Zona 6)	-1,17	1,42	0,38	0,79	0,88
Zona Sul da célula convencional (Zona 8)	-1,28	1,23	0,49	0,74	0,89
Zona Norte - Este da célula convencional (Zona 8)	-0,81	0,84	0,13	0,54	0,55
Zona Norte - Oeste da célula convencional (Zona 8)	-0,74	1,04	0,45	0,47	0,65

Tabela III.26 – Comparação dos dados medidos in situ e estimados no período entre 11 e 16 de Junho

Zona	Diferença Mínima	Diferença Máxima	Diferença Média	Desvio Padrão	Diferença Quadrática
Zona Sul da célula não convencional (Zona 2 ou CñC-S)	-0,99	0,74	-0,26	0,44	0,46
Zona Norte da célula não convencional (Zona 3 ou CñC-N)	-1,50	1,06	-0,30	0,74	0,73
Zona Sul da célula Passys (Zona 5 ou CP-S)	-1,45	1,54	0,36	1,00	0,97
Zona Norte da célula Passys (Zona 6 ou CP-N)	-1,53	1,49	-0,34	1,13	1,08
Zona Sul da célula convencional (Zona 8 ou CC-S)	-0,99	0,98	-0,03	0,50	0,46
Zona Norte – Este da célula convencional (Zona 8 ou CC-N/E)	-0,88	0,77	0,01	0,44	0,40
Zona Norte – Oeste da célula convencional (Zona 8 ou CC-N/O)	-0,97	0,82	-0,12	0,52	0,49

Na Figura III.6 e na Figura III.7 representa-se a temperatura ambiente medida in situ e estimada para os 5 dias de Março e 5 dias de Junho estudados.

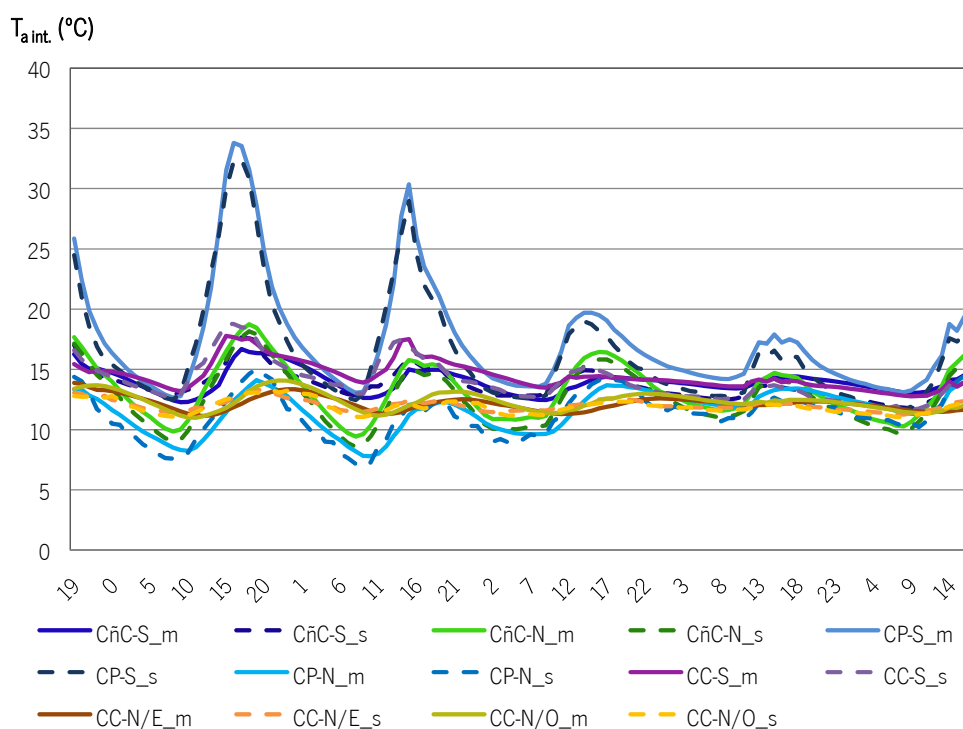


Figura III.6 – Temperatura ambiente interior das diferentes zonas no período de 26 a 31 de Março, medidas in situ (linha contínua) e estimadas (linha a tracejado)



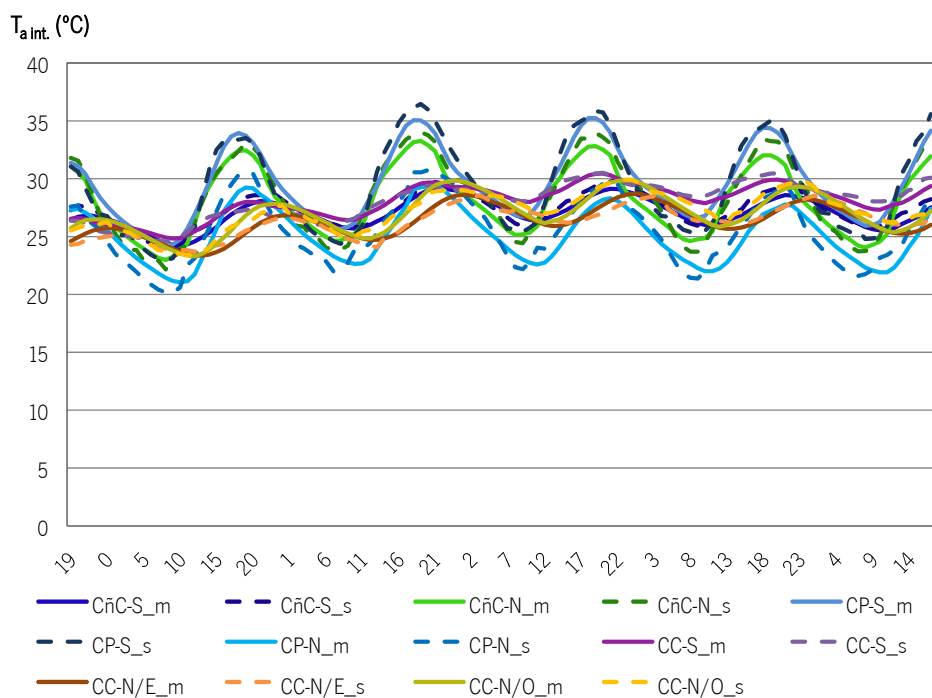


Figura III.7 – Temperatura ambiente interior das diferentes zonas no período de 11 a 16 de Junho, medidas in situ (linha contínua) e estimadas (linha a tracejado)

Como se pode observar na Figura III.6 e na Figura III.7, os valores simulados estão ajustados aos valores medidos, sendo a variação ao longo do tempo semelhante. Nos picos de temperatura, máxima e mínima os valores simulados são no entanto superiores no primeiro caso e inferiores no segundo do que os valores medidos.

Os ajustes entre as temperaturas medidas e estimadas são melhores nas zonas com inércia térmica mais elevada.

As maiores amplitudes térmicas ocorrem na Célula Passys (sem inércia térmica), em especial com temperaturas baixas, uma vez que a incidência de radiação solar no seu interior faz aumentar a temperatura muito rapidamente, o mesmo acontecendo quando a radiação solar deixa de incidir no espaço.

A diferença máxima observada entre os valores medidos e os valores estimados é da ordem de 1,5°C e a diferença quadrática máxima é de 1,2°C.

Estas diferenças devem-se essencialmente ao facto de o programa de simulação, EnergyPlus, assumir a existência perfeita da massa de ar. Além disso, sendo as células de teste ventiladas naturalmente a consideração do efeito do vento, ou seja os coeficientes de pressão considerados, é também difícil.

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.

Na Figura III.8 e na Figura III.9 apresentam-se os valores previstos para a temperatura ambiente no interior das diversas zonas das CTEñC para a semana mais fria e para a semana mais quente. As

condições térmicas interiores seguem o comportamento térmico exterior. As maiores amplitudes térmicas são registadas na célula sem capacidade de armazenamento térmico e as menores variações nas zonas com inércia térmica.

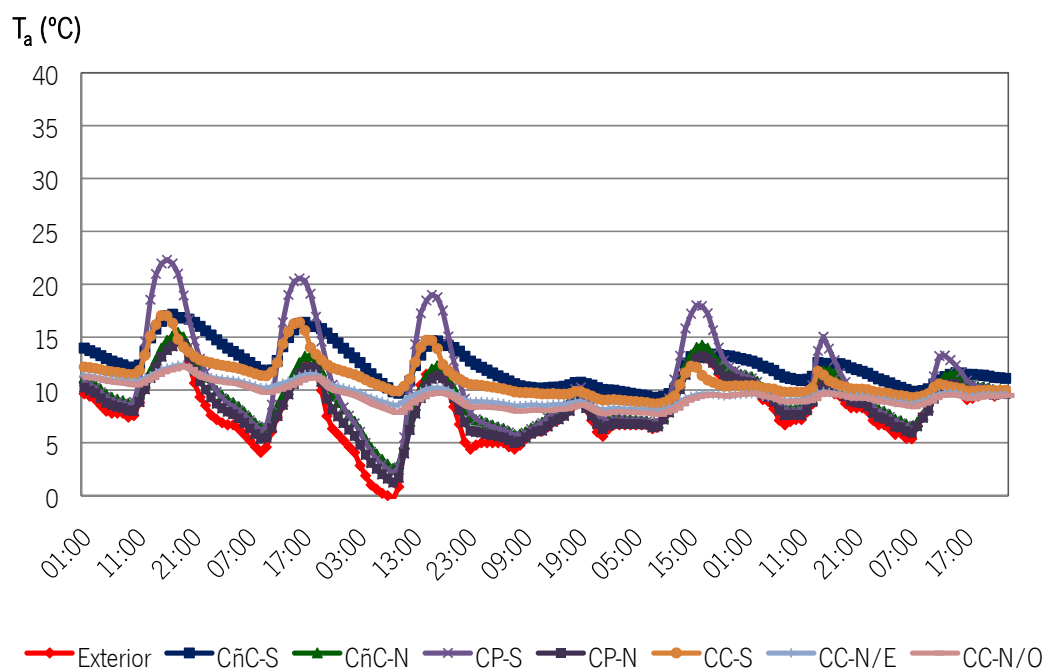


Figura III.8 – Temperatura ambiente exterior e temperatura ambiente interior estimada para as diferentes zonas na semana mais fria

A Figura III.8 mostra que a temperatura mais elevada e as maiores variações são registadas na Célula de Teste Passys (CP-S), sendo as maiores variações de temperatura registadas nesta zona.

A zona Sul da Célula não-convencional (CñC-S) e da célula convencional (CC-S) são as zonas que apresentam melhores condições térmicas, devido à conjugação dos ganhos solares, da inércia térmica e do isolamento térmico da envolvente.

A zona Sul da Célula não-convencional é também a que apresenta o maior desfasamento entre as variações de temperatura no exterior e as alterações no interior, devido à sua capacidade de armazenamento térmico.

As menores temperaturas são registadas na zona Norte das células de teste, Sendo a zona Norte da Célula de Teste Convencional as zonas cuja temperatura ambiente tem menores variações de temperatura, já que não têm ganhos solares e as trocas com o exterior são menores do que as existentes nas outras células, uma vez que o nível de isolamento das paredes exteriores é superior.

Na Figura III.9, é possível observar que a Célula de Teste Passys é a que apresenta maiores variações de temperatura e que as duas zonas a Norte da Célula de Teste Convencional são as que apresentam menores variações de temperatura ambiente e temperaturas mais próximas das de conforto.

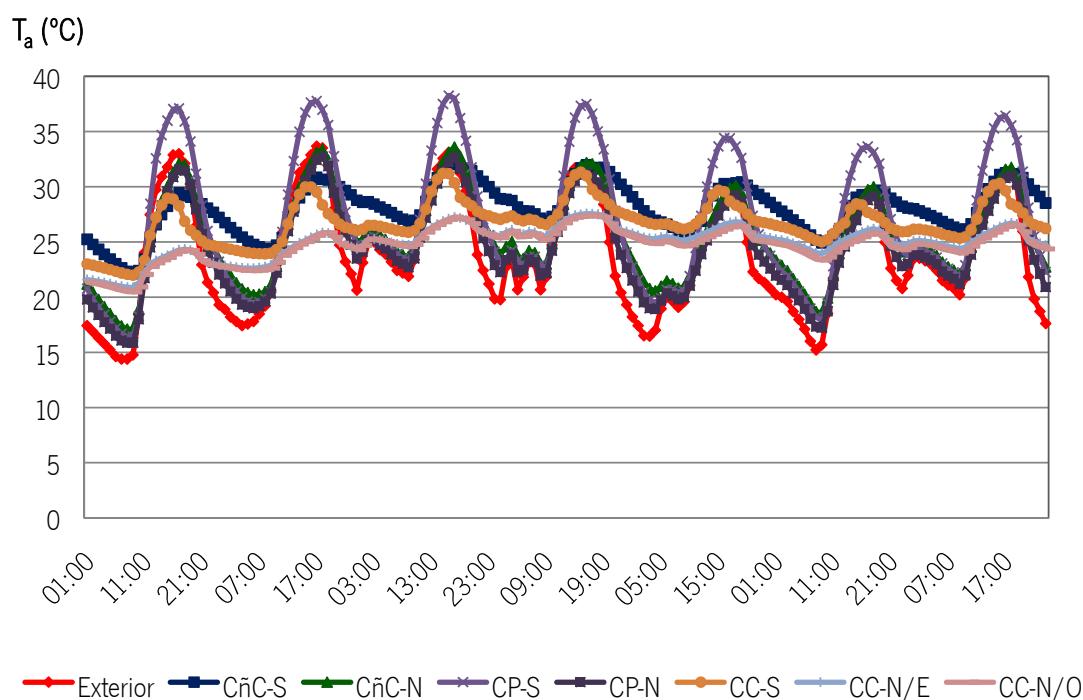


Figura III.9 – Temperatura ambiente exterior e temperatura ambiente interior estimada para as diferentes zonas na semana mais quente

A Zona Norte da Célula de Teste não-Convencional e da Célula de Teste Passys apresentam temperaturas muito próximas da temperatura ambiente exterior.

### III.3. 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 definidos duas habitações, de tipologia T3, representativas dos edifícios portugueses, que foram a base para a simulação realizada, representados na Figura III.10.

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 2.

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 uma fachada com envidraçados, Tipo 2, estão todos orientados na mesma direcção.

As duas habitações têm áreas e volumes idênticas, mas trocas com a envolvente e ganhos solares diferentes devido às suas características.

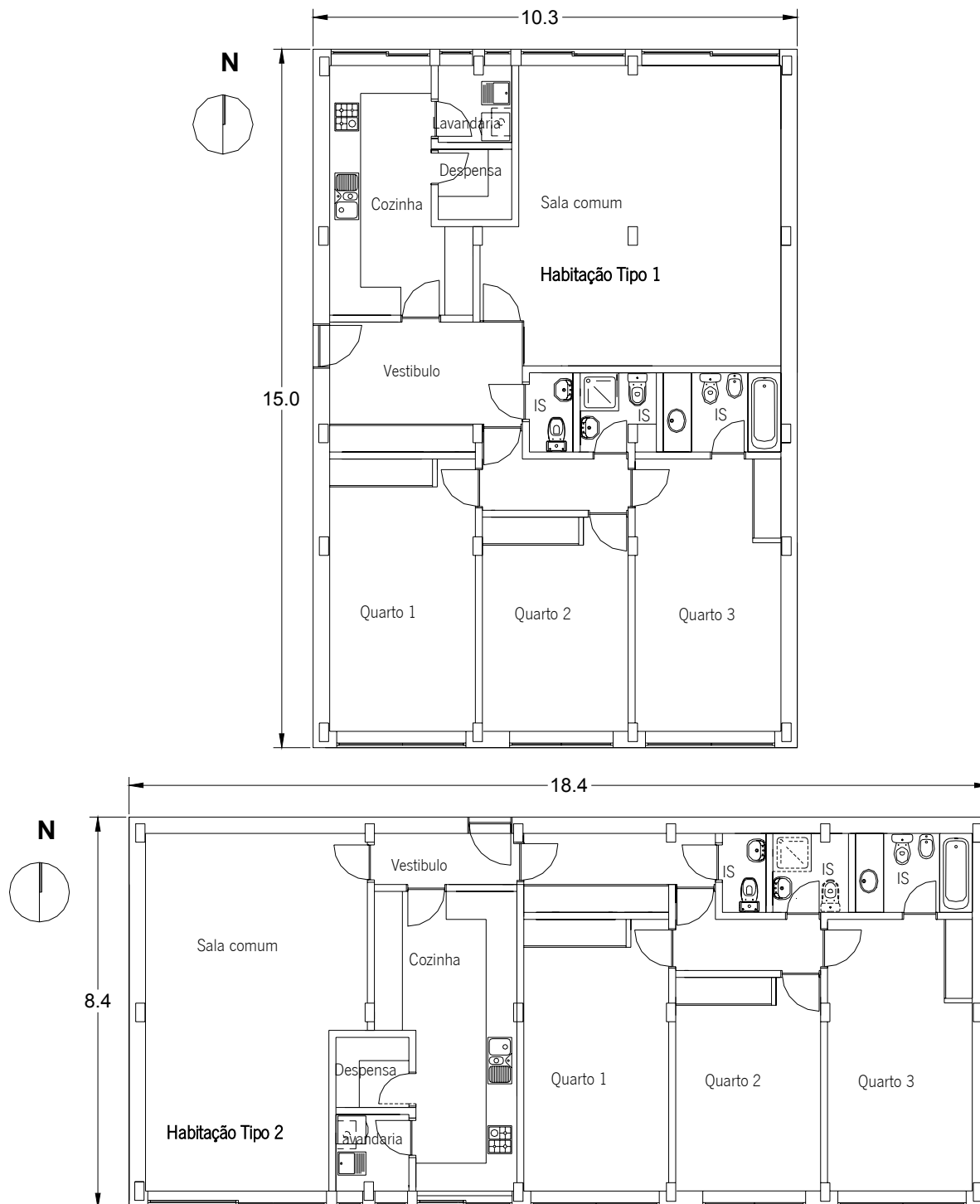


Figura III.10 - Planta dos Edifícios Tipo

### Edifícios Unifamiliares

Para a análise das habitações tipo como sendo edifícios unifamiliares considerou-se que os quartos estavam orientados a Sul.

As soluções construtivas definidas para o apartamento tipo 1 foram as seguintes:

- paredes exteriores, paredes duplas, com o pano exterior em betão com 10 cm de espessura, caixa-de-ar com 10 cm, parcialmente preenchida com 6 cm de poliestireno extrudido expandido, tijolo cerâmico furado com 15 cm de espessura e reboco com 2 cm de espessura;
- paredes interiores simples, constituídas por tijolo cerâmico furado de 11 cm de espessura rebocada em ambas as faces com 2 cm;
- laje de pavimento em betão armado com 15 cm de espessura, sobre uma camada impermeabilizante, uma isolante e outra drenante, com revestimento cerâmico.
- laje de cobertura constituída por, do exterior para o interior, protecção em seixo rolado com 5 cm, 4 cm de poliestireno expandido extrudido, camada de Impermeabilização com 0,2 cm de espessura, camada de forma com 5 cm, laje aligeirada de abobadilha cerâmica com 20 cm de espessura e reboco com 2 cm de espessura como acabamento interior;
- envidraçados com caixilharia de madeira com vidro duplo (6 + 10 + 8 mm);
- portas em madeira com 5 cm de espessura.

As soluções construtivas definidas para o apartamento tipo 2 foram as seguintes:

- paredes exteriores do tipo fachada ventilada, cujo pano exterior é constituídas por uma placa de madeira com 5 cm de espessura, caixa-de-ar com 15 cm de espessura, parcialmente preenchida com 10 cm de poliestireno extrudido expandido, bloco de betão com 20 cm de espessura, e estuque com 3,2 cm de espessura.
- paredes interiores simples, constituídas por tijolo cerâmico furado de 11 cm de espessura rebocada em ambas as faces com 2 cm;
- laje de pavimento em betão armado com 15 cm de espessura, sobre uma camada impermeabilizante, uma isolante e outra drenante, com revestimento cerâmico.
- a cobertura é inclinada com revestimento em telha cerâmica de barro vermelho, espaço de ar pouco ventilado e laje de esteira constituída por, do exterior para o interior, 4 cm de poliestireno expandido extrudido, laje alveolar com 20 cm de espessura e reboco com 2 cm de espessura como acabamento interior;
- envidraçados com caixilharia de madeira com vidro é simples de 10 mm;
- portas em madeira com 5 cm de espessura.

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.

Assim considerou-se a seguinte ocupação, definida através de listas de ocupação (“schedules”):

- cozinha, entre as 8h e às 9h encontra-se com uma ocupação de 70%, das 12h às 13h de 80% e das 13h às 14h de 50%, 25% das 18h às 19h, 50% das 19h às 20h e 70% das 20h às 21h;
- quartos apresentam uma ocupação de 100% de noite, correspondendo a uma pessoa nos quartos 1 e 2 e duas pessoas no quarto 3.

## Edifícios Multifamiliares

Considerando que as Habitações Tipo 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 são descritas na Tabela III.27, 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.

Tabela III.27 – Características das soluções construtivas

Elemento construtivo	Soluções Construtivas	
Paredes exteriores (com diferentes tipos de materiais de isolamento, espessura e localização), rebocadas em ambas as faces	Parede simples de betão armado com 15 cm (1)	
	Parede simples de tijolo cerâmico furado com 22 cm (2)	
	Parede simples de blocos de betão com 20 cm (3)	
	Parede dupla de tijolo cerâmico furado (15 cm + 11 cm) (4)	
	Parede dupla de tijolo cerâmico furado (11 cm + 11 cm) (5)	
	Parede dupla de blocos de betão com 20 cm e placa de gesso cartonado com 1,3 cm (6)	
Paredes interiores	Parede dupla de blocos de pedra (granito) com 5 cm e betão armado com 15 cm (7)	
	Parede dupla 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	
Paredes divisórias	Parede simples de tijolo cerâmico furado, rebocado em ambas as faces (8)	
	Parede dupla constituídas por dois panos de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura, com 10 cm de lã mineral colocada na caixa-de-ar (9)	
Pavimentos e coberturas (tecto)	Laje maciça de betão armado com 20 cm, 4 cm de camada de regularização, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm e revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na página inferior (10)	
	Laje aligeirada 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 página inferior (11)	
	Laje alveolar com 20 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 página inferior (12)	
Envidraçados	Caixilharia metálica com grelhas de ventilação auto-reguláveis, estores venezianos no exterior e palas horizontais na fachada Sul	Vidro duplo incolor + incolor (8 + 10 + 6) mm
		Vidro duplo de baixa emissividade (6 + 10 + 4) mm

Nas primeiras simulações foi estudada a influência das soluções construtivas das paredes de fachada.

Na Tabela III.28 e na Tabela III.29 apresentam-se os resultados relativos aos consumos energéticos da Habitação Tipo 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.

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada em ambas as faces			
Sem isolamento e sem revestimento	3548,2	929,0	4477,2
Sem isolamento	3388,7	867,3	4256,0
2 cm XPS	2574,5	749,6	3324,0
4 cm XPS	2298,0	730,9	3028,9
6 cm XPS	2165,9	724,8	2890,7
8 cm XPS	2088,7	722,0	2810,7
10 cm XPS	2038,2	720,2	2758,4
Paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	3258,0	849,1	4107,2
2 cm XPS	2546,4	748,4	3294,8
4 cm XPS	2287,6	732,0	3019,6
6 cm XPS	2161,1	726,8	2887,9
8 cm XPS	2086,5	724,1	2810,6
10 cm XPS	2037,2	722,5	2759,7
Paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada em ambas as faces			
2 cm XPS	2512,8	785,0	3297,8
4 cm XPS	2265,7	771,2	3037,0
6 cm XPS	2148,6	764,6	2913,2
8 cm XPS	2080,4	761,6	2842,0
10 cm XPS	2035,6	759,4	2795,0

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada em ambas as faces			
Sem isolamento	3203,2	865,5	4068,7
2 cm XPS	2504,4	745,8	3250,3
4 cm XPS	2269,2	731,5	3000,7
6 cm XPS	2151,0	726,7	2877,7
8 cm XPS	2080,2	724,6	2804,7
10 cm XPS	2032,9	723,2	2756,1
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	3101,0	848,5	3949,5
2 cm XPS	2481,7	745,2	3226,9
4 cm XPS	2260,0	732,3	2992,3
6 cm XPS	2146,6	728,2	2874,8
8 cm XPS	2078,0	726,1	2804,1
10 cm XPS	2032,0	724,5	2756,5
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada em ambas as faces			
Sem isolamento	3203,2	865,5	4068,7
2 cm XPS	2477,1	784,7	3261,9
4 cm XPS	2252,1	771,1	3023,2
6 cm XPS	2141,9	764,5	2906,4
8 cm XPS	2076,6	761,4	2838,0
10 cm XPS	2033,3	759,0	2792,4
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	3101,0	848,5	3949,5
2 cm XPS	2454,3	785,3	3239,6
4 cm XPS	2242,0	772,9	3014,8
6 cm XPS	2136,2	766,5	2902,8
8 cm XPS	2072,9	763,5	2836,4
10 cm XPS	2030,5	761,5	2792,0

Na Tabela III.30 apresentam-se os resultados relativos aos consumos energéticos da Habitação Tipo com vários tipos de paredes exteriores duplas e diferentes espessuras de poliestireno expandido extrudido e lã mineral e envidraçados com 1 m de altura.



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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico maciço de 11 cm + tijolo cerâmico furado de 11 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2799,9	800,3	3600,2
2 cm XPS	2413,2	769,8	3183,0
4 cm XPS	2254,7	761,8	3016,6
6 cm XPS	2170,5	757,8	2928,3
8 cm XPS	2115,6	754,7	2870,3
10 cm XPS	2087,8	753,5	2841,3
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado 15 cm + 11 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar de 10 cm, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2839,9	806,8	3646,7
2 cm XPS	2425,6	772,1	3197,6
4 cm XPS	2260,5	763,2	3023,6
6 cm XPS	2173,9	758,6	2932,5
8 cm XPS	2117,7	755,3	2873,0
10 cm XPS	2089,2	754,1	2843,3
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado 15 cm + 11 cm, com lã mineral (MW) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2839,9	806,8	3646,7
2 cm MW	2468,3	773,2	3241,5
4 cm MW	2312,0	764,8	3076,8
6 cm MW	2224,0	760,5	2984,5
8 cm MW	2163,4	757,5	2920,9
10 cm MW	2135,0	755,6	2890,6
Paredes exteriores duplas de blocos de betão com 20 cm e placas de gesso cartonado com 1,3 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2869,8	834,3	3704,0
2 cm XPS	2441,9	797,0	3238,9
4 cm XPS	2274,3	785,9	3060,2
6 cm XPS	2186,7	780,3	2967,0
8 cm XPS	2130,1	776,7	2906,8
10 cm XPS	2101,2	774,9	2876,1
Paredes exteriores duplas com placagem de pedra com 5 cm e um pano de betão armado com 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2877,7	774,9	3652,6
2 cm XPS	2528,0	752,1	3280,0
4 cm XPS	2313,5	743,6	3057,1
6 cm XPS	2203,7	740,2	2943,9
8 cm XPS	2137,1	738,5	2875,6
10 cm XPS	2092,3	737,1	2829,4

Na Tabela III.31 apresentam-se os 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.

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	3120,5	854,3	3974,8
2 cm XPS	2489,6	752,7	3242,3
4 cm XPS	2264,1	739,7	3003,8
6 cm XPS	2149,3	735,2	2884,5
8 cm XPS	2079,7	733,1	2812,9
10 cm XPS	2033,8	731,9	2765,6
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	3120,5	854,3	3974,8
2 cm XPS	2463,9	789,9	3253,8
4 cm XPS	2249,5	777,3	3026,8
6 cm XPS	2142,6	771,6	2914,2
8 cm XPS	2078,6	767,8	2846,4
10 cm XPS	2035,8	765,4	2801,2

Na Tabela III.32 apresentam-se os resultados relativos aos consumos energéticos da Habitação Tipo 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 e envidraçados com 2 m de altura, de modo a aumentar os consumos energéticos de Inverno.

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento e sem revestimento	2493,9	1337,8	3831,7
Sem isolamento	2289,7	1297,4	3587,0
2 cm XPS	1795,4	1269,6	3065,0
4 cm XPS	1628,6	1273,6	2902,2
6 cm XPS	1548,5	1277,7	2826,2
8 cm XPS	1501,2	1279,9	2781,0
10 cm XPS	1470,2	1281,9	2752,1
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2182,2	1308,1	3490,3
2 cm XPS	1756,1	1272,2	3028,3
4 cm XPS	1613,2	1276,6	2889,8
6 cm XPS	1540,5	1280,7	2821,2
8 cm XPS	1497,5	1282,9	2780,4
10 cm XPS	1507,8	1313,1	2820,9
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2182,2	1308,1	3490,3
2 cm XPS	1753,3	1309,7	3063,0
4 cm XPS	1617,7	1315,4	2933,1
6 cm XPS	1549,8	1319,0	2868,8
8 cm XPS	1509,1	1321,4	2830,5
10 cm XPS	1482,0	1323,0	2805,0

Na Tabela III.33 apresentam-se os resultados relativos aos consumos energéticos da Habitação Tipo com vários tipos de paredes exteriores duplas e diferentes espessuras de poliestireno expandido extrudido e lã mineral.

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado 15 cm + 11 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar de 10 cm, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2045,6	1272,0	3317,7
2 cm XPS	1749,9	1298,7	3048,6
4 cm XPS	1646,8	1302,7	2949,6
6 cm XPS	1592,0	1305,4	2897,4
8 cm XPS	1555,9	1307,0	2862,9
10 cm XPS	1537,6	1307,6	2845,2
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado 15 cm + 11 cm, com lã mineral (MW) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2045,6	1272,0	3317,7
2 cm MW	1786,2	1297,5	3083,7
4 cm MW	1683,7	1301,2	2985,0
6 cm MW	1626,8	1304,3	2931,1
8 cm MW	1587,4	1305,7	2893,1
10 cm MW	1568,9	1306,4	2875,3
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico maciço de 11 cm + tijolo cerâmico furado de 11 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2035,7	1298,4	3317,7
2 cm XPS	1758,5	1299,4	3048,6
4 cm XPS	1650,9	1303,3	2949,6
6 cm XPS	1594,4	1305,7	2897,4
8 cm XPS	1557,5	1307,2	2862,9
10 cm XPS	1538,7	1307,9	2845,2
Paredes exteriores duplas de blocos de betão com 20 cm e placas de gesso cartonado com 1,3 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2060,1	1314,3	3374,5
2 cm XPS	1776,1	1316,1	3092,2
4 cm XPS	1667,8	1319,7	2987,4
6 cm XPS	1611,2	1322,1	2933,3
8 cm XPS	1574,5	1323,7	2898,1
10 cm XPS	1555,7	1324,5	2880,2
Paredes exteriores duplas com placagem de pedra com 5 cm e um pano de betão armado com 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2045,6	1272,0	3317,7
2 cm XPS	1814,3	1275,6	3089,9
4 cm XPS	1674,6	1281,9	2956,6
6 cm XPS	1604,4	1286,1	2890,5
8 cm XPS	1561,6	1288,8	2850,4
10 cm XPS	2060,1	1314,3	3374,5

Na Tabela III.34 apresentam-se os 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.

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2184,3	1341,8	3526,1
2 cm XPS	1750,7	1310,7	3061,4
4 cm XPS	1606,6	1316,4	2923,0
6 cm XPS	1533,7	1320,9	2854,6
8 cm XPS	1489,7	1324,1	2813,8
10 cm XPS	1460,0	1326,3	2786,3
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2184,3	1341,8	3526,1
2 cm XPS	1750,2	1341,2	3091,3
4 cm XPS	1612,4	1347,7	2960,1
6 cm XPS	1543,9	1351,8	2895,7
8 cm XPS	1503,1	1354,4	2857,5
10 cm XPS	1475,4	1356,3	2831,7

Na Tabela III.35 e na Tabela III.36 apresentam-se os resultados relativos aos consumos energéticos da Habitação Tipo 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 com 2 m de altura e vidros com baixa emissividade.

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada em ambas as faces			
Sem isolamento e sem revestimento	2560,2	1194,3	3754,6
Sem isolamento	2443,7	1158,8	3602,5
2 cm XPS	1868,5	1114,0	2982,4
4 cm XPS	1686,1	1113,8	2799,9
6 cm XPS	1599,4	1115,7	2715,0
8 cm XPS	1549,0	1117,4	2666,4
10 cm XPS	1515,8	1118,6	2634,4
Paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2353,2	1151,6	3504,8
2 cm XPS	1851,4	1113,9	2965,2
4 cm XPS	1680,4	1114,6	2795,0
6 cm XPS	1597,4	1116,8	2714,2
8 cm XPS	1548,6	1118,5	2667,2
10 cm XPS	1516,3	1119,6	2636,0
Paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada em ambas as faces			
2 cm XPS	1844,9	1141,7	2986,6
4 cm XPS	1635,5	1171,5	2807,0
6 cm XPS	1603,1	1146,4	2749,4
8 cm XPS	1557,6	1147,8	2705,4
10 cm XPS	1527,9	1148,7	2676,6

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2117,5	1163,0	3280,6
2 cm XPS	1827,5	1158,0	2985,5
4 cm XPS	1715,1	1158,9	2874,0
6 cm XPS	1656,9	1159,6	2816,6
8 cm XPS	1618,9	1160,2	2779,2
10 cm XPS	1599,3	1160,6	2759,9
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada em ambas as faces			
2 cm XPS	1820,8	1143,7	2964,5
4 cm XPS	1671,6	1145,3	2816,9
6 cm XPS	1598,5	1146,8	2745,3
8 cm XPS	1553,5	1155,2	2708,7
10 cm XPS	1526,3	1148,8	2675,0
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada no exterior e estucada no interior			
2 cm XPS	1804,3	1150,0	2954,3
4 cm XPS	1663,5	1152,3	2815,8
6 cm XPS	1593,4	1153,9	2747,2
8 cm XPS	1551,2	1155,1	2706,3
10 cm XPS	1523,3	1156,0	2679,2

Na Tabela III.37 apresentam-se os resultados relativos aos consumos energéticos da Habitação Tipo com vários tipos de paredes exteriores duplas e diferentes espessuras de poliestireno expandido extrudido e lã mineral e envidraçados com 2 m de altura e vidros com baixa emissividade.

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado 15 cm + 11 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar de 10 cm, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2066,6	1144,3	3210,9
2 cm XPS	1803,0	1140,8	2943,8
4 cm XPS	1696,6	1142,5	2839,0
6 cm XPS	1640,3	1143,9	2784,2
8 cm XPS	1603,6	1144,7	2748,3
10 cm XPS	1584,7	1145,0	2729,7
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado 15 cm + 11 cm, com lã mineral (MW) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2066,6	1144,3	3210,9
2 cm MW	1840,1	1140,6	2980,6
4 cm MW	1735,0	1141,8	2876,8
6 cm MW	1676,1	1143,1	2819,2
8 cm MW	1635,6	1143,9	2779,5
10 cm MW	1616,4	1144,3	2760,7
Paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico maciço de 11 cm + tijolo cerâmico furado de 11 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2094,7	1147,0	3241,8
2 cm XPS	1811,7	1141,8	2953,5
4 cm XPS	1700,6	1143,1	2843,7
6 cm XPS	1642,7	1144,2	2786,9
8 cm XPS	1605,2	1145,0	2750,2
10 cm XPS	1585,8	1145,3	2731,1
Paredes exteriores duplas de blocos de betão com 20 cm e placas de gesso cartonado com 1,3 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2117,5	1163,0	3280,6
2 cm XPS	1827,5	1158,0	2985,5
4 cm XPS	1715,1	1158,9	2874,0
6 cm XPS	1656,9	1159,6	2816,6
8 cm XPS	1618,9	1160,2	2779,2
10 cm XPS	1599,3	1160,6	2759,9
Paredes exteriores duplas com placagem de pedra com 5 cm e um pano de betão armado com 15 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado na caixa-de-ar, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2108,1	1121,6	3229,8
2 cm XPS	1870,7	1120,6	2991,3
4 cm XPS	1727,7	1124,1	2851,8
6 cm XPS	1655,4	1126,9	2782,3
8 cm XPS	1611,4	1128,9	2740,3
10 cm XPS	1582,1	1130,1	2712,2



Na Tabela III.38 apresentam-se os 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.

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

Solução construtiva	Consumos energéticos (kW/ano)		
	aquecimento	arrefecimento	anuais
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2250,8	1182,4	3433,2
2 cm XPS	1805,6	1172,1	2977,7
4 cm XPS	1663,0	1174,7	2837,7
6 cm XPS	1591,8	1176,7	2768,5
8 cm XPS	1549,8	1178,1	2727,9
10 cm XPS	1521,0	1179,0	2700,0
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 22 cm, com poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo interior, rebocada no exterior e estucada no interior			
Sem isolamento	2250,8	1182,4	3433,2
2 cm XPS	1810,7	1143,2	2953,9
4 cm XPS	1661,7	1145,3	2807,0
6 cm XPS	1586,0	1148,2	2734,2
8 cm XPS	1540,1	1150,4	2690,5
10 cm XPS	1509,4	1151,9	2661,3

Na Tabela III.39 apresentam-se os consumos energéticos e condições de conforto da Habitação Tipo 1 com paredes de betão armado com 15 cm e com paredes de tijolo cerâmico furado com 22 cm de espessura.

Tabela III.39 – Consumos energéticos e condições de conforto da Habitação Tipo 1

Solução construtiva	Consumos energéticos de aquecimento (kW/ano)	Consumos energéticos de arrefecimento (kW/ano)	Consumos energéticos anuais (kW/ano)	Período confortável [%]
Paredes exteriores simples de betão armado de 15 cm, com diferentes espessuras de poliestireno expandido extrudido (XPS) colocado pelo exterior, rebocada no exterior e estucada no interior				
Sem isolamento	3258,0	849,1	4107,2	36
2 cm XPS	2546,4	748,4	3294,8	43
4 cm XPS	2287,6	732,0	3019,6	48
6 cm XPS	2161,1	726,8	2887,9	50
8 cm XPS	2086,5	724,1	2810,6	52
10 cm XPS	2037,2	722,5	2759,7	54
Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado com 22 cm de espessura, com diferentes espessuras de poliestireno expandido extrudido (XPS) no exterior, rebocada no exterior e estucada no interior				
Sem isolamento	3101,0	848,5	3949,5	38
2 cm XPS	2481,7	745,2	3226,9	44
4 cm XPS	2260,0	732,3	2992,3	48
6 cm XPS	2146,6	728,2	2874,8	51
8 cm XPS	2078,0	726,1	2804,1	52
10 cm XPS	2032,0	724,5	2756,5	53

#### III.4. Simulação do Comportamento Acústico

A previsão do comportamento acústico foi realizada usando o programa Acoubat Sound, sendo os elementos construtivos analisados 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.

Foi criada uma base de dados de soluções construtivas, agrupando as soluções definidas na 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.

De seguida apresentam-se os resultados do estudo realizado, sendo definida a solução construtiva, a sua massa e espessura, bem como os índices de isolamento, a sons aéreos e de percussão.

Na Tabela III.40 apresentam-se os valores estimados do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão padronizado ( $D_{nT,w}$  e  $L'_{nT,w}$ ) dos pavimentos.

Tabela III.40 – Comportamento acústico de diversos tipos de pavimentos

Elemento Construtivo	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Espessura (cm)	D <sub>nt,w</sub> (dB)	L' <sub>nt,w</sub> (dB)
Revestimento de piso em madeira, lajeta de betão armado com 6 cm, 3 mm de polietileno reticulado, laje aligeirada com 30 cm (4 + 23 + 3), 1 cm de estuque	420	38,1	47	71
Tarina colada, lajeta de betão armado com 5 cm, laje aligeirada com 30 cm (4 + 23 + 3), 1 cm de estuque	410	36,8	43	75
Viga de madeira, soalho de madeira e lâ de rocha	63	-	40	-
Betão com 10 cm	220	10	45	83
Betão com 12 cm	275	12	48	81
Betão com 14 cm	325	14	50	79
Betão com 15 cm	350	15	51	78
Betão com 16 cm	375	16	52	78
Betão com 17 cm	400	17	53	76
Betão com 18 cm	425	18	53	75
Betão com 19 cm	445	19	54	74
Betão com 20 cm	470	20	54	73
Betão com 21 cm	495	21	55	72
Betão com 22 cm	515	22	55	71
Betão com 23 cm	514	23	56	71
Betão com 24 cm	565	24	57	70
Betão com 25 cm	595	25	57	69
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 4 cm de camada de regularização, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm e revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	555	26,8	56	67
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm, revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	315	32,8	52	79
Laje alveolar com 20 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 superfície inferior	430	25,3	53	75

Na Tabela III.41 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.

Na Tabela III.42 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 Tabela III.41 e a Tabela III.42 mostram a influência da espessura e do tipo de elemento resiliente e da existência de uma lajeta flutuante para o comportamento acústico de lajes de betão armado e aligeiradas.

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

Elemento Construtivo	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Espessura (cm)	D <sub>nr,w</sub> (dB)	L' <sub>nr,w</sub> (dB)
Laje maciça de betão armado com 20 cm e 10 cm de betão com leca	555	30	58	65
Laje maciça de betão armado com 20 cm e revestimento de piso de material cerâmico com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	475	22,3	54	69
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 4 cm de camada de regularização, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm e revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	555	26,8	56	67
Laje maciça de betão armado com 20 cm, lâmina de espuma de polietileno com 4 cm e lajeta com 4 cm de betão armado	520	28	58	46
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 2,5 cm de fibra de coco 25mm (110kg/m <sup>3</sup> ) e lajeta com 4 cm de betão armado	522,8	27	58	47
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 2 cm de membrana betuminosa e lajeta com 4 cm de betonilha	570	26	58	48
Laje de Betão armado com 20 cm, 2 cm de lã de rocha (100 kg/m <sup>2</sup> ), tela de polietileno com 0.15 mm lajeta com 4 cm de betão armado	560	26	60	39
Laje de Betão armado com 20 cm, 2 cm de poliestireno expandido, tela de polietileno com 0.15 mm lajeta com 4 cm de betão armado	520,2	26	58	43
Laje de Betão armado com 20 cm, 2 cm de poliestireno expandido, tela de polietileno com 0.15 mm lajeta com 4 cm de betão armado	520,4	28	58	42
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 4 cm de camada de regularização, lâmina de aglomerado de cortiça com 2,5 cm e revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	485	28,8	58	51
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 4 cm de camada de regularização, lâmina de aglomerado de cortiça com 4 cm e revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	574	30,3	58	49
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 4 cm de camada de regularização, lâmina de lã de rocha com 2 cm, lajeta de betão armado com 4 cm e revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	577	32,3	56	54
Laje maciça de betão armado com 20 cm, lâmina de polietileno reticular com 0,5 mm, lajeta com 6 cm de betão armado e revestimento de piso de material cerâmico com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	487	28,8	56	54
Laje maciça de betão armado com 20 cm, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm e revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	477	22,8	54	59
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 4 cm de camada de regularização, lâmina de aglomerado de cortiça com 2,5 cm e tecto falso com placas de gesso cartonado, sem preenchimento	600	47,3	59	51
Laje maciça de betão armado com 20 cm, 4 cm de camada de regularização, lâmina de aglomerado de cortiça com 2,5 cm e tecto falso com placas de gesso cartonado, com 15 cm de lã mineral	610	47,3	61	48

Tabela III.42 – Comportamento acústico de diversos tipos de pavimento com lajes aligeiradas como elemento de suporte, com diversos tipos de revestimento de piso

Elemento Construtivo	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Espessura (cm)	D <sub>nr,w</sub> (dB)	L' <sub>nr,w</sub> (dB)
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	315	32,3	52	85
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm, revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	315	32,8	52	79
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, lâmina de espuma de polietileno com 1 cm, lajeta flutuante com 4 cm de betão armado, revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	410	37,3	52	65
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, lâmina de espuma de polietileno com 2,5 cm, lajeta flutuante com 4 cm de betão armado, revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	411	38,8	52	55
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos de betão com 26 cm, camada de regularização com 4 cm, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm, revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	565	39,3	52	79
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos de betão com 26 cm, camada de regularização com 4 cm, lâmina de espuma de polietileno com 1 cm, lajeta flutuante com 4 cm de betão armado, revestimento de piso de madeira com 0,8 cm e rebocada na superfície inferior	600	39,8	56	53
Laje aligeirada com Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos de poliestireno expandido com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, sem revestimento	262	30	45	90
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos de poliestireno expandido com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, revestimento de piso em parquet e rebocada na superfície inferior	430	32,3	47	84
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos de poliestireno expandido com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, lâmina de espuma de polietileno com 0,5 cm, revestimento de piso em parquet e rebocada na superfície inferior	430	32,8	48	68
Laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos de poliestireno expandido com 42 cm, com 5 cm de camada de regularização, lâmina de espuma de polietileno com 1 cm, revestimento de piso em parquet e rebocada na superfície inferior	440	50,3	55	62
Pavimento leve em madeira (vigas de madeira como elemento de suporte, entre tábuas de madeira com 2 cm e caixa de ar preenchida com lã mineral)	63	-	40	5

Na Tabela III.43 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.

Tabela III.43 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes de fachada da Habitação Tipo 1 ( $D_{2m, nT, w}$  em dB)

Solução Construtiva	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	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 Tabela III.44, na Tabela III.45 e na Tabela III.46 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.

Na Tabela III.44 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 exteriores de granito e de tijolo cerâmico e várias áreas de envidraçado (6 + 10 + 4) mm, em relação à área de paredes do Quarto 2.

Tabela III.44 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de tijolo cerâmico e de granito ( $D_{2m, nT, W}$  em dB)

Solução Construtiva	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Esp. (cm)	$D_{2m, nT, W}$ (dB)			
			15%	30%	50%	60%
Percentagem de área da parede						
Granito com 60cm de espessura	1404	60	43	40	37	37
Granito com 1 m de espessura	2340	100	44	40	38	37
Tijolo cerâmico furado de 7 cm rebocado em ambas as faces	110	9	39	38	37	36
Tijolo cerâmico perfurado de 11 cm, rebocado em ambas as faces	140	13	40	39	37	37
Tijolo cerâmico perfurado de 15 cm, rebocado em ambas as faces	170	17	41	39	37	37
Tijolo cerâmico perfurado de 20 cm, rebocado em ambas as faces	210	22	43	40	38	37
Tijolo cerâmico maciço de 7 cm, rebocado em ambas as faces	175	9	42	39	37	37
Tijolo cerâmico maciço de 11 cm, rebocado em ambas as faces	248	14	43	40	38	37
Tijolo cerâmico furado de 10 cm, rebocado numa face	150	13	40	39	37	37
Tijolo cerâmico furado de 12 cm, rebocado numa face	150	15	40	39	37	37
Tijolo cerâmico furado de 15 cm, rebocado numa face	200	18	42	40	38	37
Tijolo cerâmico furado de 20 cm, rebocado numa face	250	22,5	43	40	38	37
Tijolo cerâmico furado de 22 cm, rebocado numa face	330	25	43	40	38	37
Tijolo cerâmico maciço de 10 cm	210	13	42	40	38	37
Tijolo cerâmico maciço de 22 cm	410	25	44	40	38	37

Na Tabela III.45 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 exteriores de betão e de blocos de betão e várias áreas de envidraçado (6 + 10 + 4) mm, em relação à área de paredes do Quarto 2.

Na Tabela III.46 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 duplas e várias áreas de envidraçado (6 + 10 + 4) mm, em relação à área de paredes do Quarto 2.

Tabela III.45 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores de betão e de blocos de betão ( $D_{2m,nT,w}$  em dB)

Solução Construtiva	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Esp. (cm)	$D_{2m,nT,w}$ (dB)			
			15%	30%	50%	60%
Percentagem de área da parede						
Betão armado com 14 cm	325	14	43	40	38	37
Betão armado com 15 cm	350	15	44	40	38	37
Betão armado com 20 cm	470	20	44	40	38	37
Betão armado com 25 cm	595	25	44	40	38	37
Blocos de argila expandida com 12 cm, estucada em ambas as faces	172	15	41	39	38	37
Blocos de argila expandida com 12 cm, rebocada em ambas as faces	197	15	43	40	38	37
Blocos de argila expandida com 15 cm, estucada em ambas as faces	206	18	42	40	38	37
Blocos de argila expandida com 15 cm, rebocada em ambas as faces	231	18	43	40	38	37
Bloco de termoargila furado de 14 cm com 1,5 cm de estuque em ambas as faces	202	17	43	40	38	37
Bloco de termoargila furado de 19 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	243	22	43	40	38	37
Bloco de termoargila furado de 24 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	289	27	43	40	38	37
Bloco de termoargila furado de 29 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	351	32	43	40	38	37
Bloco de termoargila furado de 12 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	215	15	43	40	38	37
Blocos de betão com leca com 20 cm, rebocada em ambas as faces (2,5 cm)	350	22,5	43	40	38	37
Blocos de betão celular de 15 cm, rebocados numa face	110	16,5	40	38	37	37
Blocos de betão celular de 20 cm, rebocados numa face	145	21,5	42	39	37	37
Blocos de betão celular de 25 cm, rebocados numa face	180	26,5	43	40	38	37
Blocos de betão furados de 10 cm, rebocados numa face	150	11,5	41	39	37	37
Blocos de betão furados de 12,5 cm, rebocados numa face	185	14	42	40	38	37
Blocos de betão furados de 15 cm, rebocados numa face	220	16,5	43	40	38	37
Blocos de betão furados de 17,5 cm, rebocados numa face	250	19	43	40	38	37
Blocos de betão furados de 20 cm, rebocados numa face	275	21,5	43	40	38	37
Blocos de betão leve maciços de 15 cm, rebocados numa das faces	250	16,5	43	40	38	37
Blocos de betão leve maciços de 20 cm, rebocados numa das faces	310	21,5	43	40	38	37
Blocos de betão maciços de 10 cm, rebocados numa das faces	240	11,5	43	40	38	37
Blocos de betão maciços de 12,5 cm, rebocados numa das faces	285	14	43	40	38	37
Blocos de betão maciços de 15 cm, rebocados numa das faces	330	16,5	44	40	38	37
Blocos de betão maciços de 17,5 cm, rebocados numa das faces	375	19	44	40	38	37
Blocos de betão maciços de 20 cm, rebocados numa das faces	420	21,5	44	40	3	37



Tabela III.46 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores duplas ( $D_{2m,nT,w}$  em dB)

Solução Construtiva	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Esp. (cm)	$D_{2m,nT,w}$ (dB)			
			15%	30%	50%	60%
Percentagem de área da parede						
Blocos de argila expandida com 12 cm, 2 cm de fibra de vidro e tijolo cerâmico furado com 7 cm	220	24,5	42	40	38	37
Placa de gesso cartonado com 1,3 cm, tijolo cerâmico furado com 7 cm, espuma de poliestireno com 2 cm, tijolo cerâmico furado com 7 cm e placa de gesso cartonado com 1,3 cm	133	23	43	40	38	37
Placa de gesso cartonado com 1,3 cm, fibra de vidro com 4 cm, placa de gesso cartonado com 1,3 cm	30	12	42	40	38	37
Bloco termoargila 14 cm, caixa-de-ar com 5 cm de lâ mineral com 70 kg/m <sup>3</sup> , bloco de betão leve com 12 cm	417	26,5	44	40	38	37
Tijolo furado com 7 cm, caixa-de-ar com 5 cm de lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado com 7 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	200	22	43	40	38	37
Tijolo furado de 7cm, 5 cm de lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado de 11 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	220	26	43	40	38	37
Tijolo furado de 7cm, caixa-de-ar com 5 cm de lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	250	30	43	40	38	37
Tijolo furado de 11 cm, caixa-de-ar com 5 cm de lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , blocos betão com 12 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	440	31	44	40	38	37
Tijolo furado de 11 cm, caixa-de-ar com 5 cm de lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado de 11 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	240	30	43	40	38	37
Tijolo furado de 11 cm caixa-de-ar com 5 cm lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	280	34	43	40	38	37
Tijolo furado de 15 cm, caixa-de-ar com 5 cm lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado 15 cm rebocada em ambas as faces (1,5cm)	310	38	43	40	38	37
Tijolo maciço de 11 cm, caixa-de-ar com 5 cm lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado 7 cm rebocada em ambas as faces (1,5cm)	312	26	43	40	38	37
Tijolo maciço de 11 cm, caixa-de-ar com 5 cm lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado 11 cm rebocada em ambas as faces (1,5cm)	332	30	43	40	38	37
Tijolo maciço de 11 cm, caixa-de-ar com 5 cm lâ mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado 15 cm rebocada em ambas as faces (1,5cm)	367	38	43	40	38	37
Revestimento monocamada, tijolo cerâmico furado de 9 cm, 4 cm de poliestireno projectado, tijolo cerâmico furado de 9 cm e 1, 5 cm de estuque	259	25	42	40	38	37

Na Tabela III.47 apresentam-se os valores estimados do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado ( $D_{2m,nt,w}$ ) 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 lã mineral com 70kg/m<sup>3</sup>, tijolo furado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm) e 30% de área de envidraçado em relação à área de parede.

Tabela III.47 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes exteriores, da Habitação Tipo 1, para diferentes tipos de envidraçados

Elemento Construtivo	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	$D_{2m,nt,w}$ (dB)			
		30%		60%	
		Sem CE	Com CE	Sem CE	Com CE
Parede dupla de tijolo furado de 11 cm caixa-de-ar com 5 cm lã mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	-				
Vidro duplo laminado (4 + 12 + 4) mm	41	41	40	38	38
Vidro duplo (6 + 12 + 6) mm	30	40	40	40	37
Vidro duplo laminado (11+ 20 + 9) mm	75	51	48	49	47
Vidro duplo (Rw + Ctr = 29 dB)	25	41	40	39	38
Vidro duplo (Rw + Ctr = 31 dB)	35	43	42	41	40
Vidro duplo (Rw + Ctr = 34 dB)	35	44	43	42	41
Vidro duplo (Rw + Ctr = 38 dB)	35	44	43	42	41
Vidro duplo (10 + 10 + 4) mm (Rw = 37)	68	44	43	41	41
Vidro duplo (10 + 6 + 4) mm (Rw = 37)	67	44	43	41	41
Vidro duplo (4 + 12 + 4) mm (Rw = 34)	44	41	40	38	38
Vidro duplo (8+ 12 + 4) mm (Rw = 37)	31,9	44	43	41	41
Vidro duplo (8+ 8 + 4) mm (Rw = 36)	31,1	43	42	41	40
Vidro duplo (9+ 12 + 10) mm (Rw = 42)	90	48	42	46	44
Vidro duplo (10 + 18 + 4) mm (Rw = 43) - caixilharia de PVC	62,4	49	46	47	45
Vidro duplo (4 + 12 + 4) mm (Rw = 34)	44	41	40	38	38

Na Tabela III.48 e na Tabela III.49 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.

Tabela III.48 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores simples

Elemento Construtivo	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Esp. (cm)	D <sub>nr,w</sub> (dB)
Granito com 60cm de espessura	1404	60	61
Granito com 1 m de espessura	2340	100	66
Tijolo cerâmico furado de 7 cm rebocado em ambas as faces	110	9	37
Tijolo cerâmico perfurado de 11 cm, rebocado em ambas as faces	140	13	39
Tijolo cerâmico perfurado de 15 cm, rebocado em ambas as faces	170	17	40
Tijolo cerâmico perfurado de 20 cm, rebocado em ambas as faces	210	22	43
Tijolo cerâmico maciço de 7 cm, rebocado em ambas as faces	175	9	42
Tijolo cerâmico maciço de 11 cm, rebocado em ambas as faces	248	14	44
Tijolo cerâmico furado de 10 cm, rebocado numa face	150	13	39
Tijolo cerâmico furado de 12 cm, rebocados numa face	150	15	39
Tijolo cerâmico furado de 15 cm, rebocados numa face	200	18	43
Tijolo cerâmico furado de 20 cm, rebocados numa face	250	22,5	46
Tijolo cerâmico furado de 22 cm, rebocados numa face	330	25	48
Tijolo cerâmico maciço de 10 cm	210	13	42
Tijolo cerâmico maciço de 22 cm	410	25	49
Betão armado com 14 cm	325	14	48
Betão armado com 15 cm	350	15	48
Betão armado com 20 cm	470	20	51
Betão armado com 25 cm	595	25	53
Blocos de betão celular de 15 cm, rebocada numa face	110	16,5	37
Blocos de betão celular de 20 cm, rebocada numa face	145	21,5	41
Blocos de betão celular de 25 cm, rebocada numa face	180	26,5	44
Blocos de betão furados de 10 cm, rebocada numa face	150	11,5	40
Blocos de betão furados de 12,5 cm, rebocada numa face	185	14	42
Blocos de betão furados de 15 cm, rebocada numa face	220	16,5	43
Blocos de betão furados de 17,5 cm, rebocada numa face	250	19	46
Blocos de betão furados de 20 cm, rebocada numa face	275	21,5	48
Blocos de betão leve maciços de 15 cm, rebocada numa das faces	250	16,5	45
Blocos de betão leve maciços de 20 cm, rebocada numa das faces	310	21,5	47
Blocos de betão maciços de 10 cm, rebocada numa das faces	240	11,5	45
Blocos de betão maciços de 12,5 cm, rebocada numa das faces	285	14	47
Blocos de betão maciços de 15 cm, rebocada numa das faces	330	16,5	48
Blocos de betão maciços de 17,5 cm, rebocada numa das faces	375	19	49
Blocos de betão maciços de 20 cm, rebocada numa das faces	420	21,5	50
Bloco de termoargila furado de 14 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	202	17	44
Bloco de termoargila furado de 19 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	243	22	45
Bloco de termoargila furado de 24 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	289	27	46
Bloco de termoargila furado de 29 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	351	32	47
Bloco de termoargila furado de 12 cm, estuque com 1,5 cm em ambas as faces	215	15	45
Blocos de argila expandida com 12 cm, estucada em ambas as faces	172	15	44
Blocos de argila expandida com 12 cm, rebocada em ambas as faces	197	15	49
Blocos de argila expandida com 15 cm, estucada em ambas as faces	206	18	47
Blocos de argila expandida com 15 cm, rebocada em ambas as faces	231	18	50
Blocos de betão com leca com 20 cm, rebocada em ambas as faces (2,5 cm)	350	22,5	47

Tabela III.49 – Comportamento acústico de diversos tipos de paredes interiores duplas

Elemento Construtivo	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Esp. (cm)	D <sub>nr,w</sub> (dB)
Blocos de argila expandida com 12 cm, 2 cm de fibra de vidro e tijolo cerâmico furado com 7 cm	220	24,5	47
Placa de gesso cartonado com 1,3 cm, tijolo cerâmico furado com 7 cm, espuma de poliestireno com 2 cm, tijolo cerâmico furado com 7 cm e placa de gesso cartonado com 1,3 cm	133	23	50
Placa de gesso cartonado com 1,3 cm, fibra de vidro com 4 cm, placa de gesso cartonado com 1,3 cm	84	12	47
Bloco termoargila 14 cm, caixa-de-ar com 5 cm de lã mineral com 70 kg/m <sup>3</sup> , bloco de betão leve com 12 cm	417	26,5	50
Tijolo furado com 7 cm, caixa-de-ar com 5 cm de lã mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado com 7 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	200	22	44
Tijolo furado de 7cm, 5 cm de lã mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado de 11 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	220	26	45
Tijolo furado de 7cm, caixa-de-ar com 5 cm de lã mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	250	30	45
Tijolo furado de 11 cm, caixa-de-ar com 5 cm de lã mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , blocos betão com 12 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	440	31	49
Tijolo furado de 11 cm, caixa-de-ar com 5 cm de lã mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado de 11 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	240	30	45
Tijolo furado de 11 cm caixa-de-ar com 5 cm lã mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (1,5cm)	280	34	46
Tijolo furado de 15 cm, caixa-de-ar com 5 cm lã mineral com 70kg/m <sup>3</sup> , tijolo furado 15 cm rebocada em ambas as faces (1,5cm)	310	38	47

### III.5. 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.

A previsão do comportamento lumínico dos edifícios foi realizada usando os programas de simulação Desktop Radiance e Ecotect.

Nos pontos seguintes são apresentados os resultados obtidos para as várias habitações estudadas.

#### III.5.1. Simulação do comportamento lumínico

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.

Os resultados relativos ao Edifício Tipo 1, são apresentados no Capítulo 4.

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 desta análise são apresentados no Capítulo 5.

## 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.

### Simulação do comportamento lumínico do Edifício 1

Na Figura III.11 apresenta-se a planta de implantação do Edifício 1, onde se representam a orientação e as principais obstruções aos envidraçados dos compartimentos estudados.



Figura III.11 – Planta de implantação do Edifício 1

Os resultados da simulação são apresentados no Capítulo 4.

### Simulação do comportamento lumínico da Habitação 2.1

Na Habitação 2.1 foram analisados a sala, o quarto e a cozinha, os resultados obtidos são apresentados de seguida.

#### Sala 2.1

Na Figura III.12 estão representados os resultados da simulação para a sala da Habitação 2.1, à esquerda são apresentados os valores da iluminância e à direita os valores do Factor de Luz do Dia.

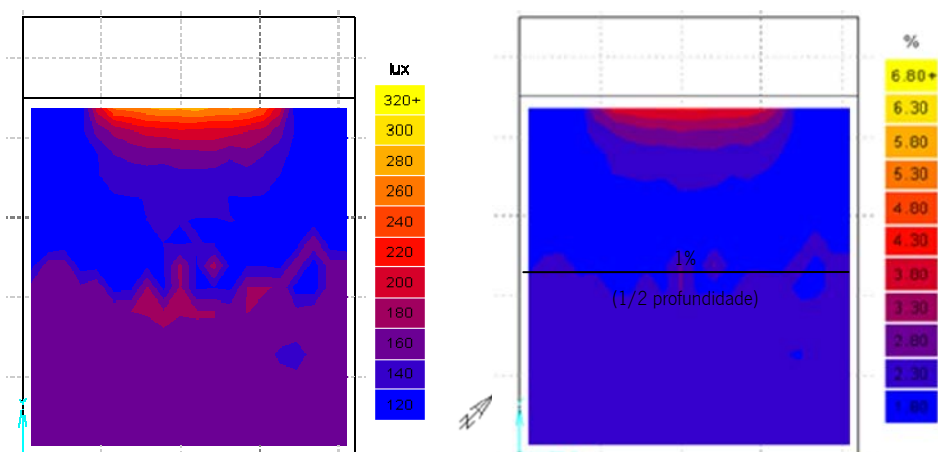


Figura III.12 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 2.1

Os valores iluminância na sala 2.1 variam entre 160 lx e cerca 280 lx, tal como mostra a Figura III.12. Estes 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).

Na Figura III.12, à direita apresentam-se os valores de FLD, sendo estes superiores junto ao envidraçado, como é de esperar, sendo cumpridas as recomendações da CIE (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

### Quarto 2.1

A Figura III.13 apresenta, à esquerda os valores da iluminância e à direita os valores do Factor de Luz do Dia, os resultados obtidos para o quarto da Habitação 2.1, que possui uma pala como elemento de sombreamento fixo.

Através da Figura III.13 pode-se concluir que este quarto apresenta 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.

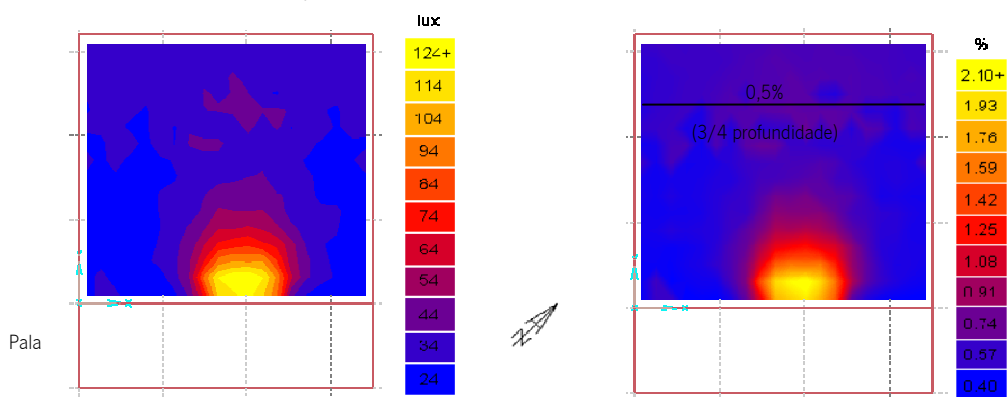


Figura III.13 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 2.1

Analisando a Figura III.13 verifica-se também que os valores de FLD rondam o 0,5% a 3/4 da profundidade do compartimento, respeitando o recomendado (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

### Cozinha 2.1

Na Figura III.14 apresentam-se os resultados obtidos para a cozinha da Habitação 2.1 (valores da iluminância à esquerda e valores do Factor de Luz do Dia à direita).

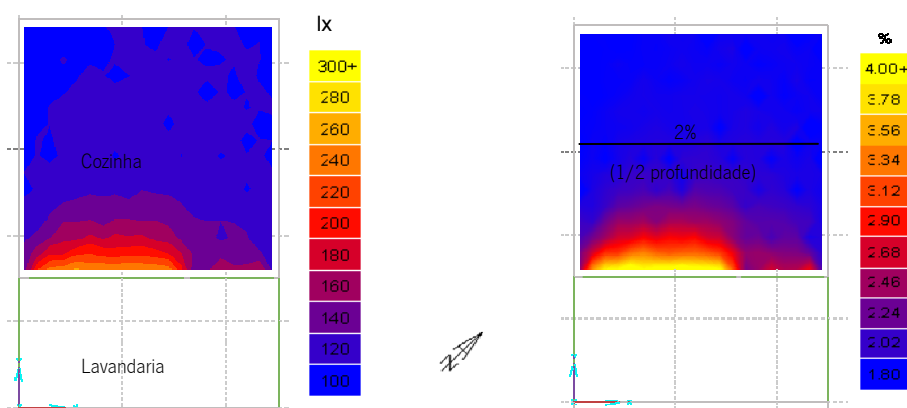


Figura III.14 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 2.1

Através dos resultados obtidos, apresentados na Figura III.14, verifica-se que o nível de iluminância disponível neste espaço não é 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 a rondar os 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

Na Habitação 3 foram estudados três compartimentos, a sala, o quarto e a cozinha, sendo os resultados obtidos apresentados de seguida.

#### Sala 3

Nas Figura III.15 estão representados os resultados da simulação das condições de iluminação natural para a sala da Habitação 3.

Na Figura III.15, à esquerda, estão representados os valores de iluminância para a Sala 3, os valores variam 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.

Na Figura III.15, à direita, estão representados os valores de FLD, a existência de envidraçados orientados a Sul e a Oeste, com área elevada, conduzem à existência de valores de FLD superiores ao recomendado (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

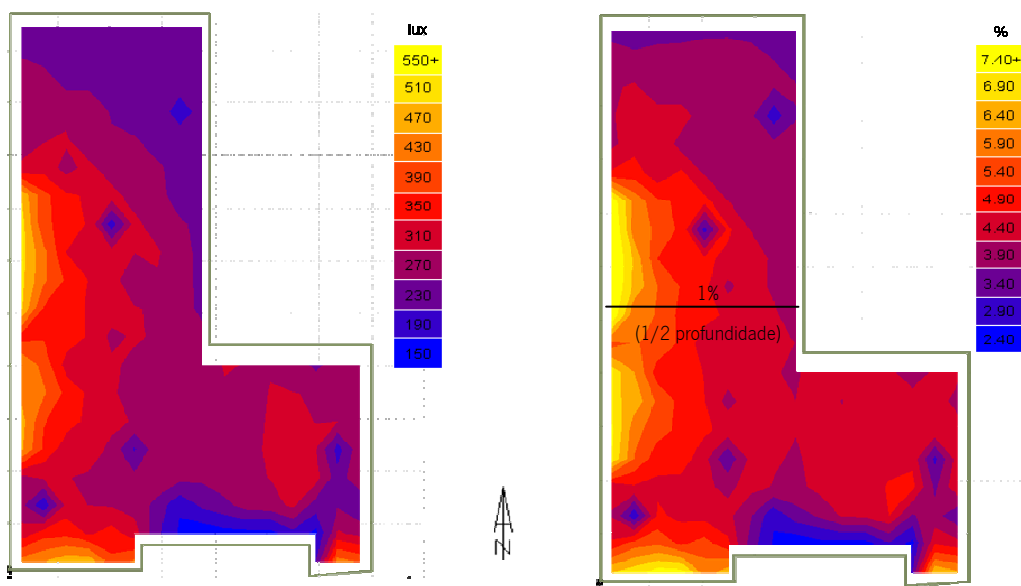


Figura III.15 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 3

### Quarto 3

A Figura III.16 apresenta os resultados obtidos para o quarto analisado na Habitação 3. 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, representados à direita na Figura III.16, 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).

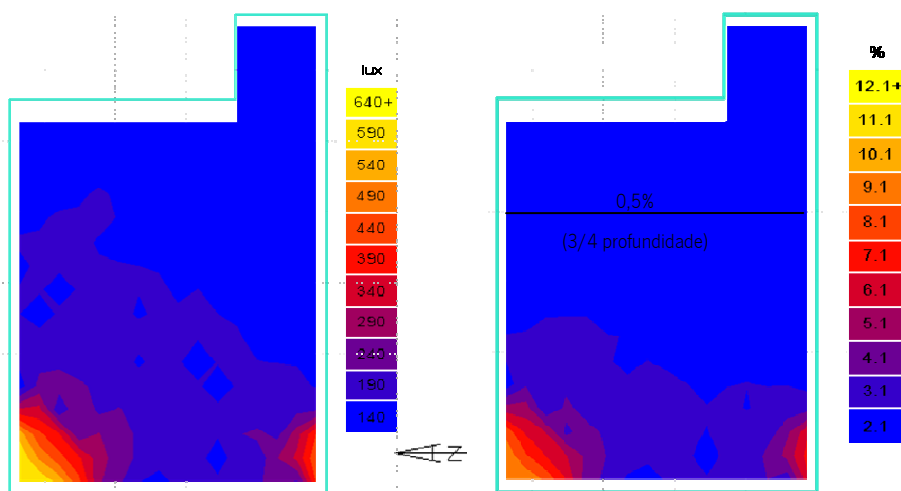


Figura III.16 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 3



### Cozinha 3

Os resultados obtidos através de simulação para o comportamento lumínico da cozinha da Habitação 3 são apresentados na Figura III.17.

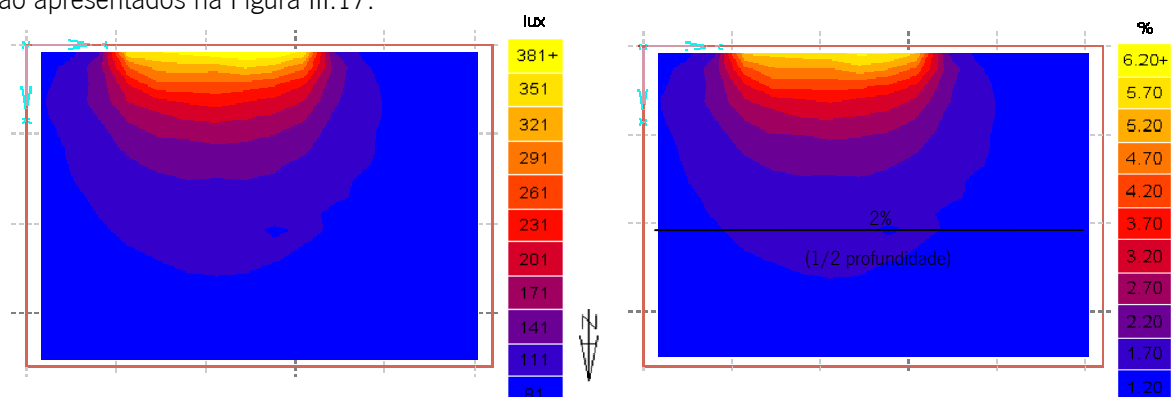


Figura III.17 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 3

Através dos resultados obtidos para os níveis de iluminância, apresentados à esquerda na Figura III.17, verifica-se que os níveis de iluminação natural disponíveis neste espaço não são suficientes para assegurar a qualidade recomendada.

Em relação aos valores de FLD, representados à direita na Figura III.17, estes são inferiores ao recomendado, variando entre 1.7 e 1.2% a meio do compartimento.

### Simulação do comportamento lumínico da Habitação 4

#### Sala 4

Nas Figura III.18 estão representados os resultados da simulação do comportamento lumínico para a Sala 4.

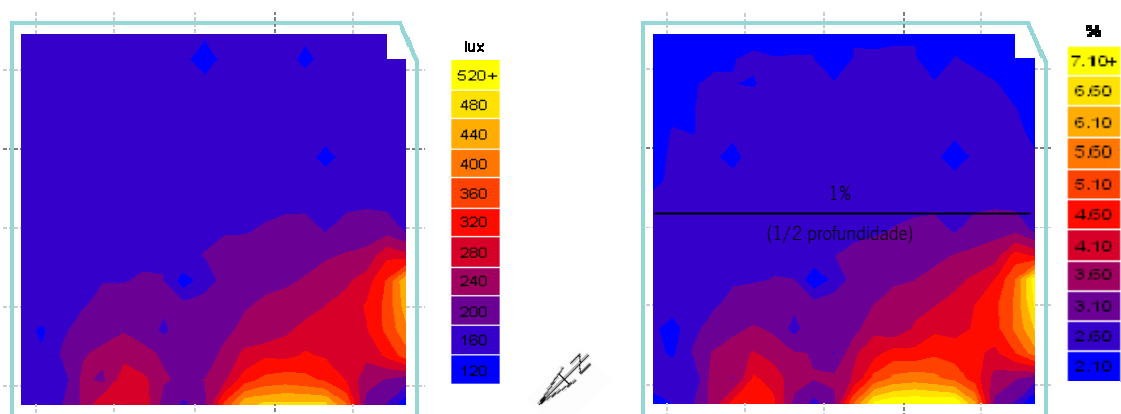


Figura III.18 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 4

À esquerda na Figura III.18 estão representados os valores de iluminância para a Sala 4, estes variam entre 520 lx e 120 lx, sendo de 160 lx na maior parte da área do compartimento.

À direita na Figura III.18 apresentam-se os valores de FLD, sendo possível verificar que os valores previstos são superiores aos valores recomendados (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

#### Quarto 4

Na Figura III.19 apresenta os resultados obtidos para as condições de iluminação natural para o Quarto 4.

Os resultados da simulação, apresentados na Figura III.27 mostram que a sala 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%), tal como mostra a Figura III.27.

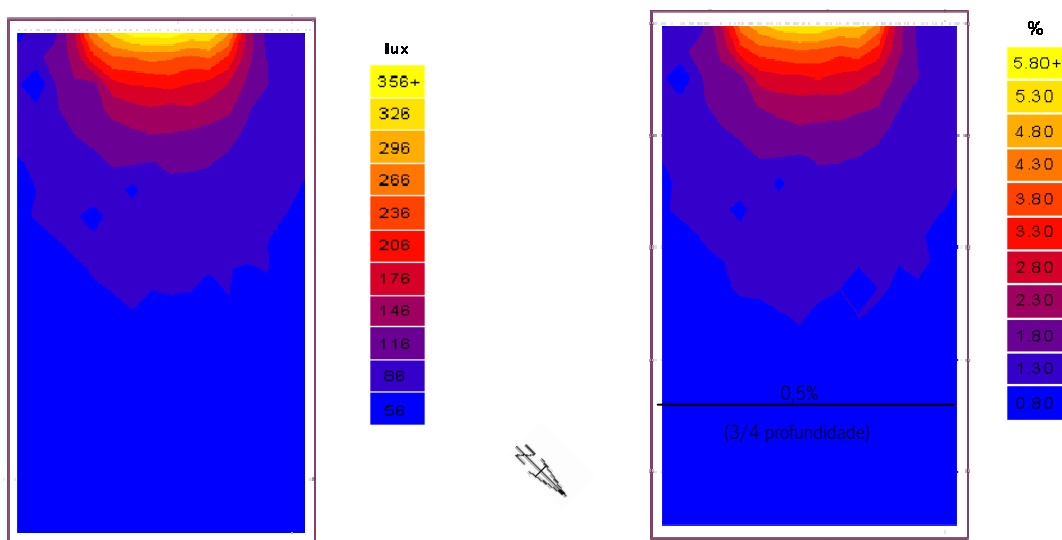


Figura III.19 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 4

Na Figura III.19, à esquerda, pode verificar-se que na maior parte do compartimento, os valores de iluminância são inferiores a 116 lx.

Analisando a Figura III.19, à direita, pode verificar-se que este quarto apresenta um valor de FLD superior ao valor recomendado, sendo o valor de FLD de 0.8% a 3/4 de profundidade.

#### Cozinha 4

Os resultados obtidos para as condições de iluminação natural na cozinha da Habitação 4 são apresentados na Figura III.20.

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, apresentados à esquerda na Figura III.20, também são inferiores ao recomendado, sendo cerca 0,8% a meio do compartimento.

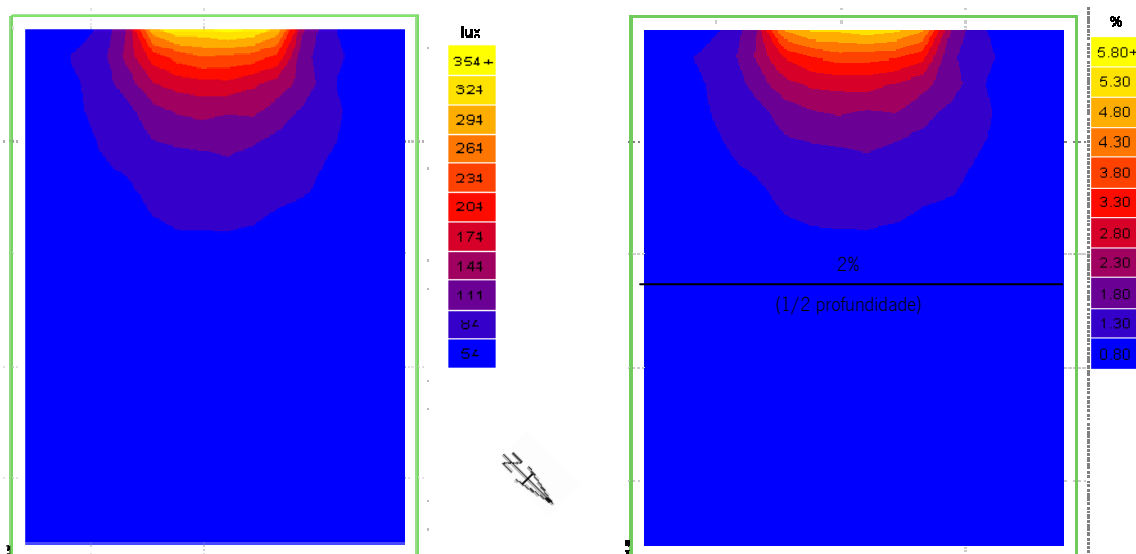


Figura III.20 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 4

### Simulação do comportamento lumínico da Habitação 5.1

De seguida apresentam-se os resultados das simulações realizadas para prever as características de iluminação natural na sala, no quarto e na Cozinha da Habitação 5.1.

#### Sala 5.1

À esquerda na Figura III.21 estão representados os valores de iluminância para a Sala 5.1, sendo possível verificar que esta apresenta, em grande parte da sua área, valores de iluminância de 72 lx, menos de metade do valor recomendado (200 lx).

Da análise da Figura III.21, à direita, onde estão representados os resultados de simulação relativos ao FLD, verifica-se que as recomendações relativas a este factor são respeitadas (1% a metade do comprimento do compartimento).

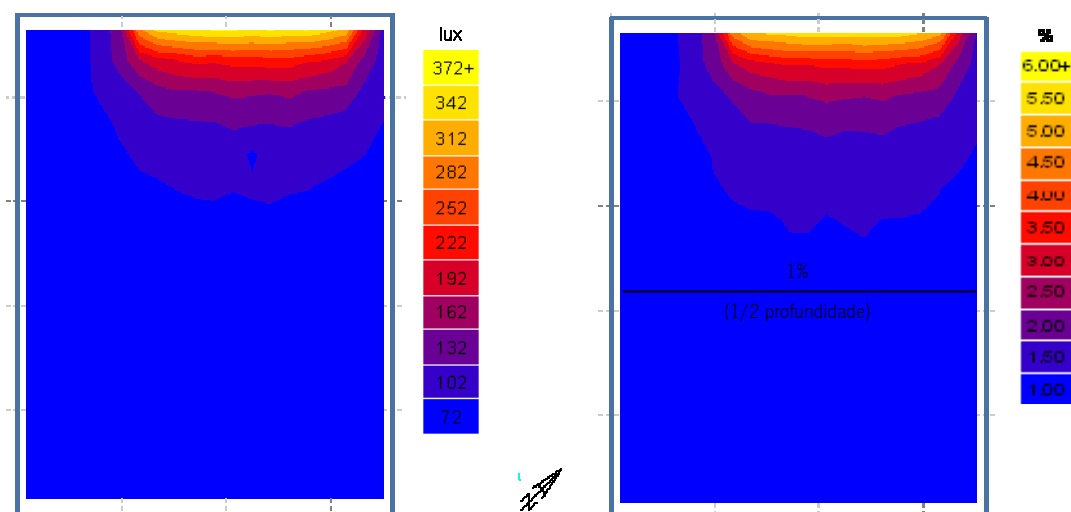


Figura III.21 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 5.1

### Quarto 5.1

A Figura III.22 apresenta os resultados da simulação do comportamento lumínico obtidos para o Quarto 5.1.

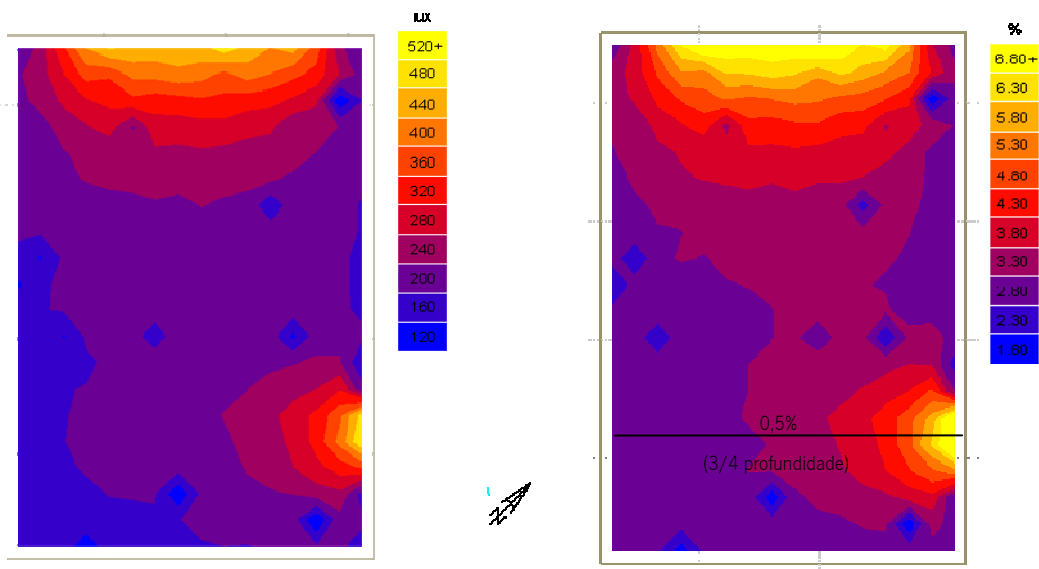


Figura III.22 - Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 5.1

Através da imagem à esquerda da Figura III.22, relativa ao nível de iluminância, pode-se verificar-se que na generalidade da área do Quarto 5.1 a iluminância é de 200 lx, sendo os superiores observados nas zonas próximas aos envidraçados.

Analisando a imagem à direita na Figura III.22 verifica-se que o FLD previsto para o Quarto 5 é superior ao valor recomendado, contribuindo para tal a existência de um segundo envidraçado próximo do fundo do compartimento.

### Cozinha 5.1

Os resultados obtidos através da simulação para a cozinha da Habitação 5.1 são os apresentados nas Figura III.23.

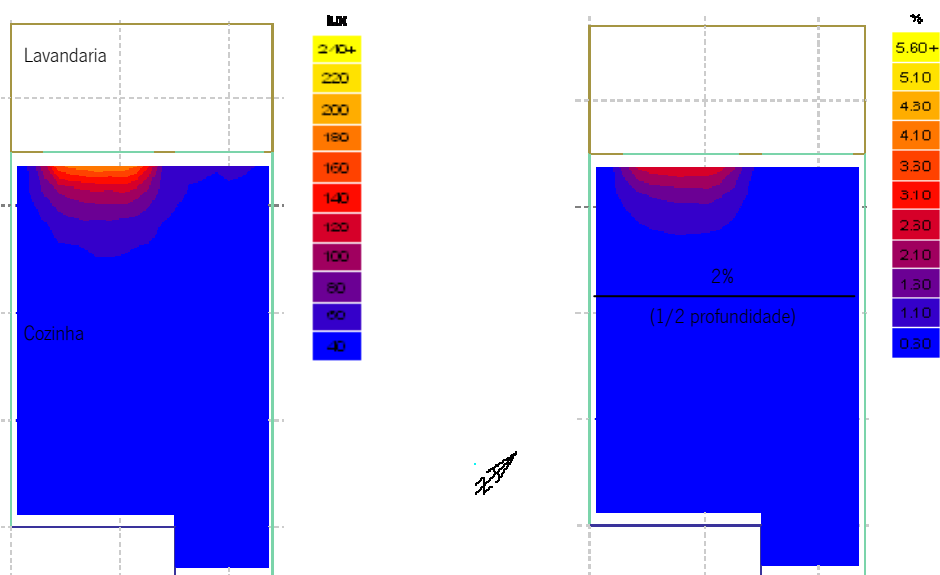


Figura III.23 - Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 5.1

Na Cozinha 5.1 as condições de iluminação natural, caracterizadas através da iluminância, apresentadas na imagem à esquerda na Figura III.23, são desadequadas. O valor previsto para a generalidade do compartimento é 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 (à direita na Figura III.23) previstos são também inferiores ao recomendado, sendo de cerca de 0.6% a meio do compartimento.

### Simulação do comportamento lumínico da Habitação 6.1

Os resultados da previsão do comportamento lumínico dos compartimentos da Habitação 6.1 são apresentados de seguida.

#### Sala 6.1

Na Figura III.24 são representados os resultados da simulação para a sala da Habitação 6.1.

Na imagem à esquerda da Figura III.24 verifica-se que o valor da iluminância na sala é 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 é 1,90%, sendo superior ao recomendado (1%), tal como mostra também a Figura III.24.

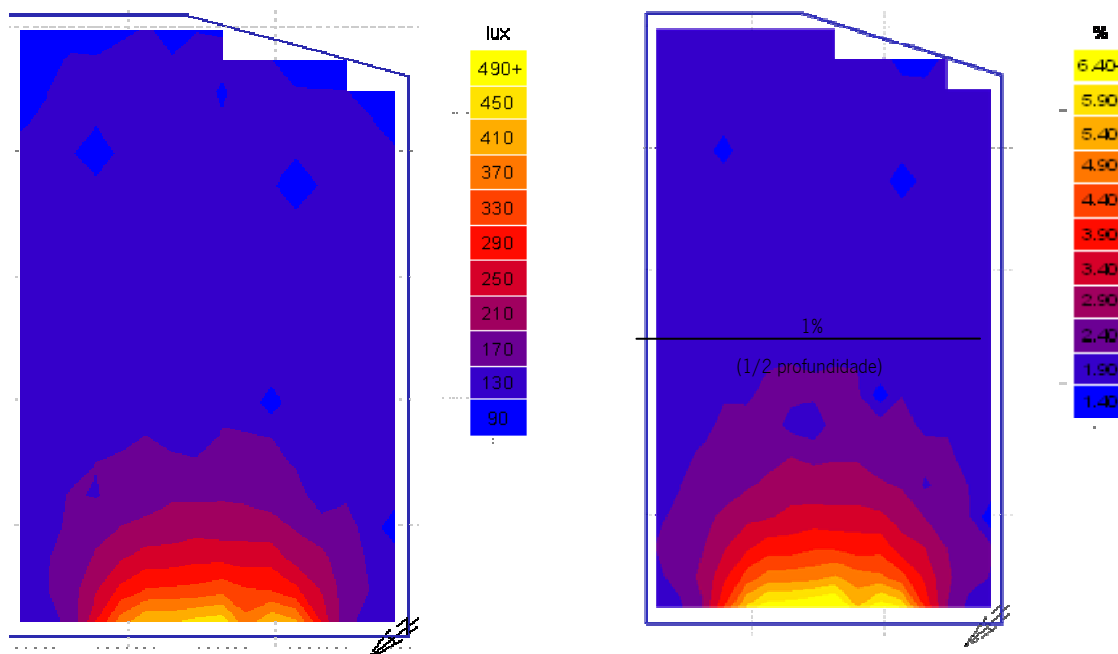


Figura III.24 - Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 6.1

#### Quarto 6.1

Na Figura III.25 apresentam-se os resultados obtidos para o Quarto 6.1.

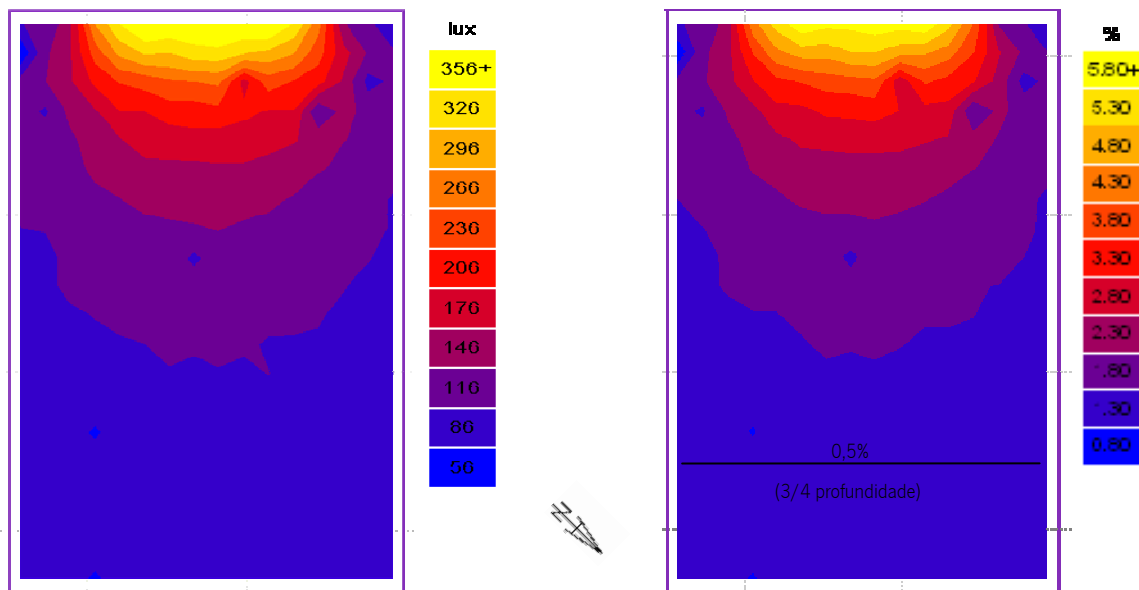


Figura III.25 - Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 6.1

Observando a imagem à direita da Figura III.25 verifica-se que os níveis de iluminância previstos são baixos, sendo inferiores a 116 lx em mais de metade da área do quarto.

Os FLD, apresentados à esquerda da Figura III.25, estão são superiores aos valores recomendados (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

### Cozinha 6.1

Os resultados obtidos através da simulação para a cozinha da Habitação 6.1 são apresentados na Figura III.26.

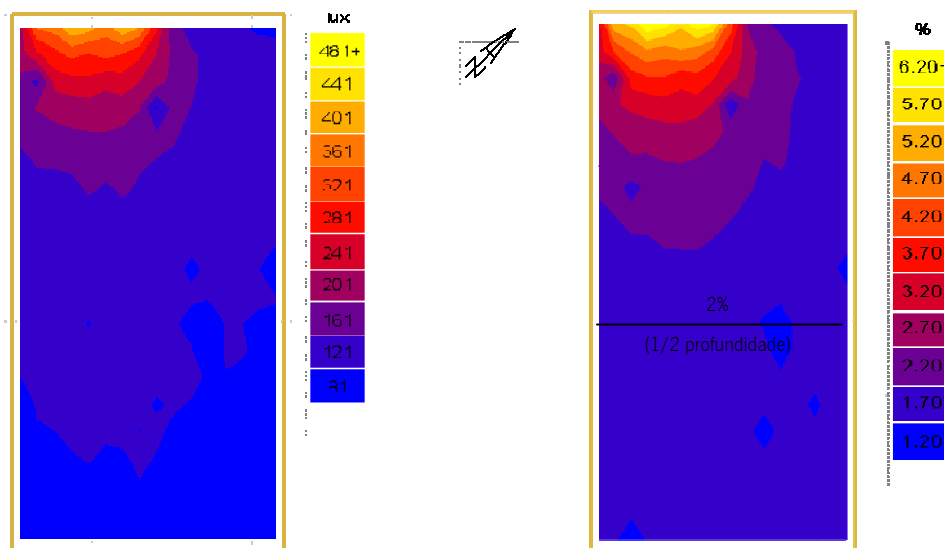


Figura III.26 - Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 6.1

Através da análise da Figura III.26 verifica-se que os níveis de iluminância são inferiores ao recomendado (200 lx) na maior parte da área do compartimento, o ao FLD é próximo ao valor recomendado para o centro do compartimento (2%).

### Simulação do comportamento lumínico da Habitação 7.1

De seguida apresentam-se os resultados da previsão do comportamento lumínico dos compartimentos da Habitação 7.1.

#### Sala 7.1

Nas Figura III.27 estão representados os resultados da simulação para a sala da Habitação 7.1.

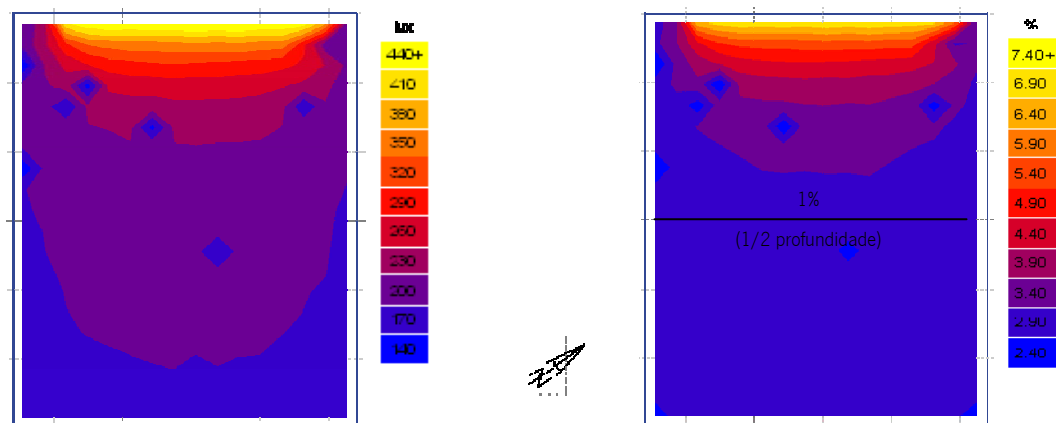


Figura III.27 - Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Sala 7.1

Os resultados da simulação, apresentados na Figura III.27 mostram que a sala 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%), tal como mostra a Figura III.27.

#### Quarto 7.1

A Figura III.28 apresenta os resultados obtidos para o quarto da Habitação 7.1.

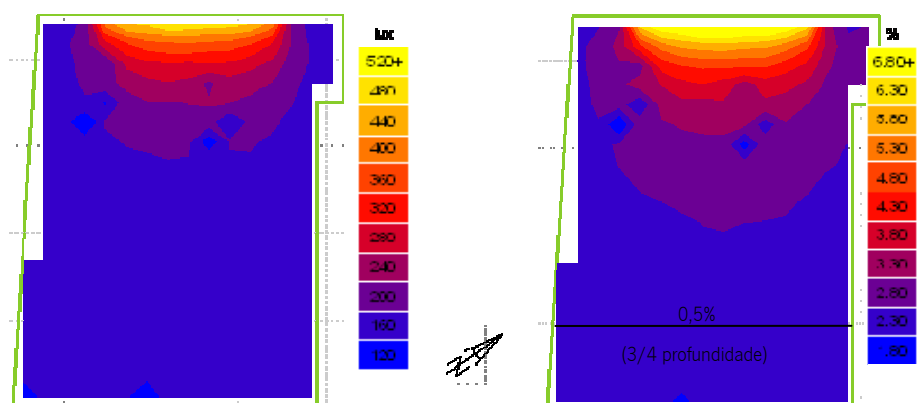


Figura III.28 - Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para o Quarto 7.1

A Figura III.28 mostra que os valores de iluminância são de 160 lx e que o FLD é superior ao valor recomendado, sendo de 2,3% na maior parte da área do compartimento

## Cozinha

Os resultados obtidos através da simulação para a cozinha da Habitação 6 são apresentados nas Figura III.29.

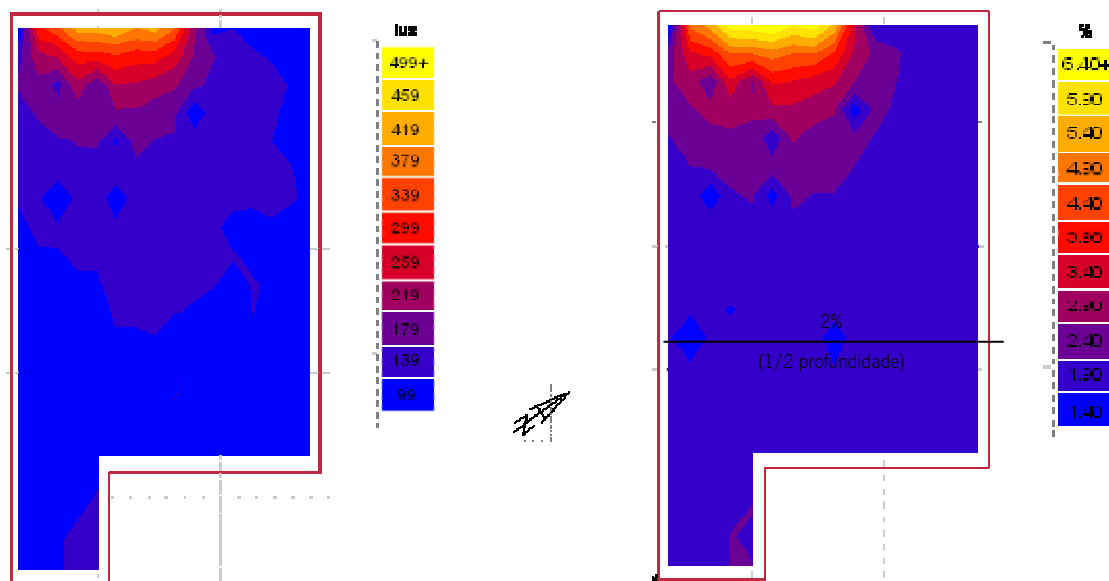


Figura III.29 – Iluminância e Factor de Luz do Dia previstos para a Cozinha 7.1

Através da análise da Figura III.29 verifica-se que os níveis de iluminância, inferiores a 139 lx, são inferiores ao recomendado (200 lx), sendo os valores de FLD obtidos pela simulação, 1,9%, são 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

Além das habitações anteriores foram também avaliadas as condições de iluminação de uma Habitação unifamiliar isolada, construída em 1964, orientada a Sul, localizada na Zona Climática I2V1 (Póvoa de Varzim), com 307.8 m<sup>2</sup>.

As paredes exteriores são duplas de tijolo furado, 11 + 15 cm, rebocada em ambas as faces, sem isolamento na caixa-de-ar de 3 cm. As paredes divisórias são simples de 11 cm, rebocadas em ambas as faces. Os vidros são simples de 6 mm, instalados em caixilharia metálica de correr.

A cobertura é inclinada, com telha e barro vermelho, constituída por uma laje de betão normal com 15 cm e 4 cm de poliestireno expandido sob a telha.

Os pavimentos são constituídos por lajes de betão armado com 20 cm, 5 cm de camada de forma e revestimento cerâmico, excepto nos quartos em que o revestimento de piso é de material cerâmico.

Na Figura III.30 apresenta-se uma vista da habitação, e a uma perspectiva da Habitação 10.



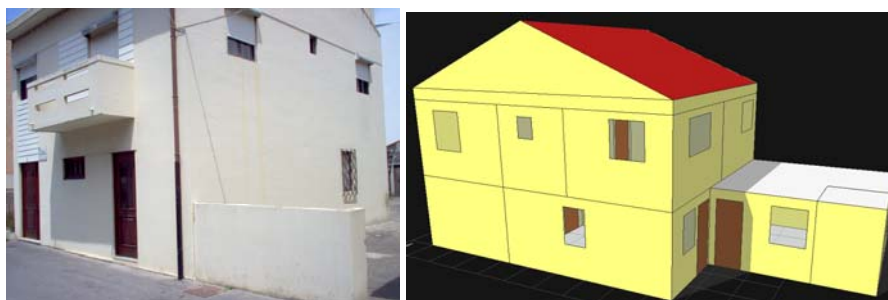


Figura III.30 – Vista da fachada principal e perspectiva da Habitação 10

Na Figura III.31 apresenta-se a planta do rés-do-chão e do 1º andar da Habitação 10.

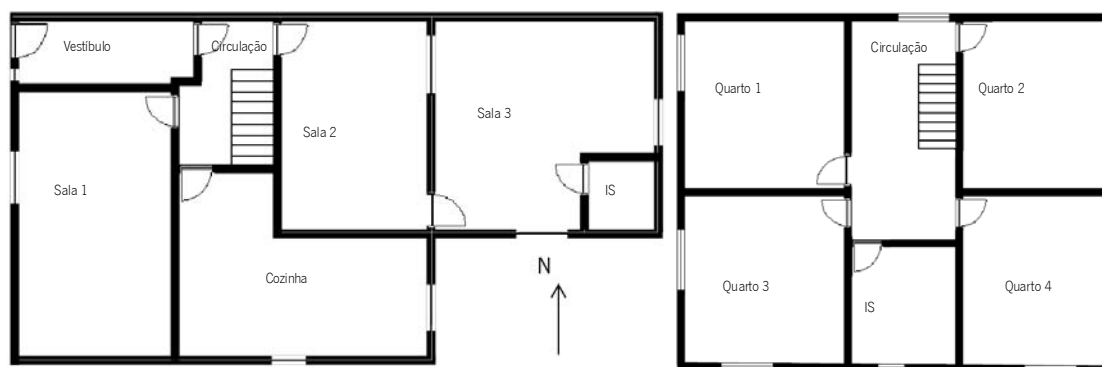


Figura III.31 – Planta do rés-do-chão e do 1º andar da Habitação 10

Na Figura III.33 na Figura III.33 apresenta-se os resultados da previsão do FLD nos diferentes compartimentos da Habitação 10 no dia 21 de Março e para o dia 21 de Outubro.

Na Tabela III.50 apresentam-se os valores de FLD previstos para os diferentes compartimentos da Habitação 10 estudados.

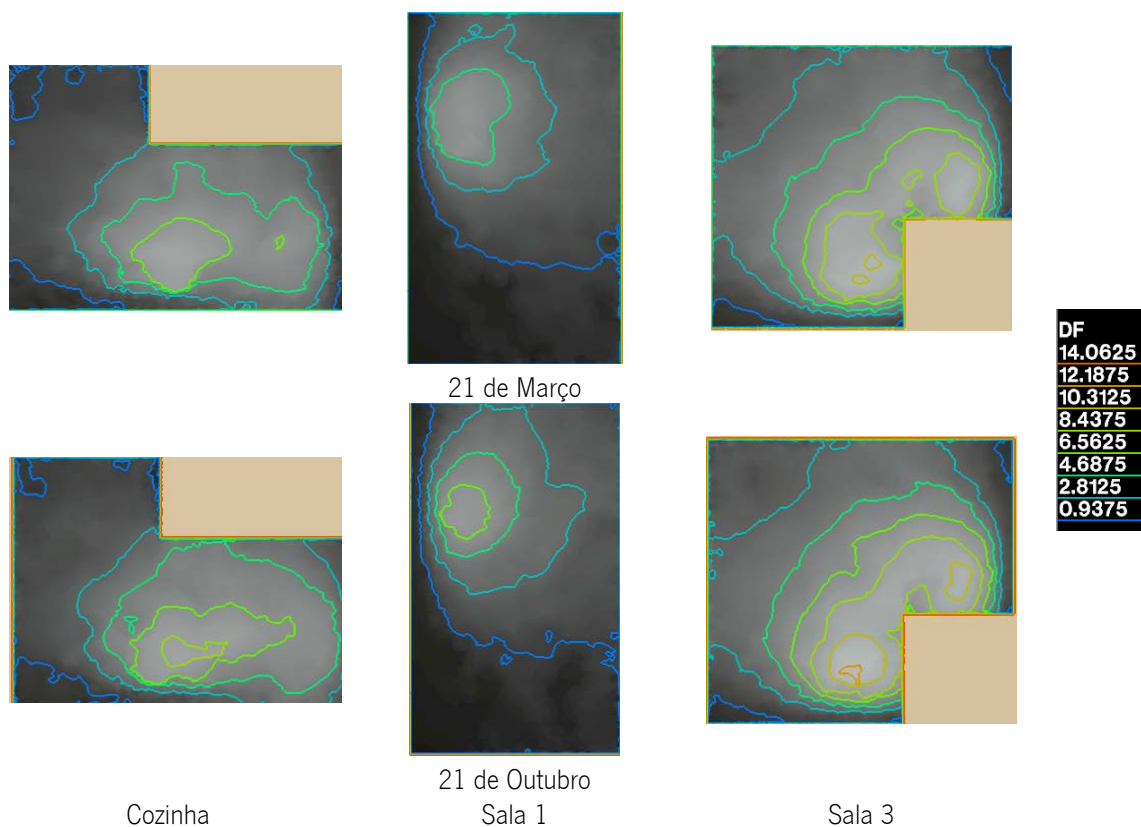


Figura III.32 – FLD na cozinha e nas salas da Habitação 10 estudadas

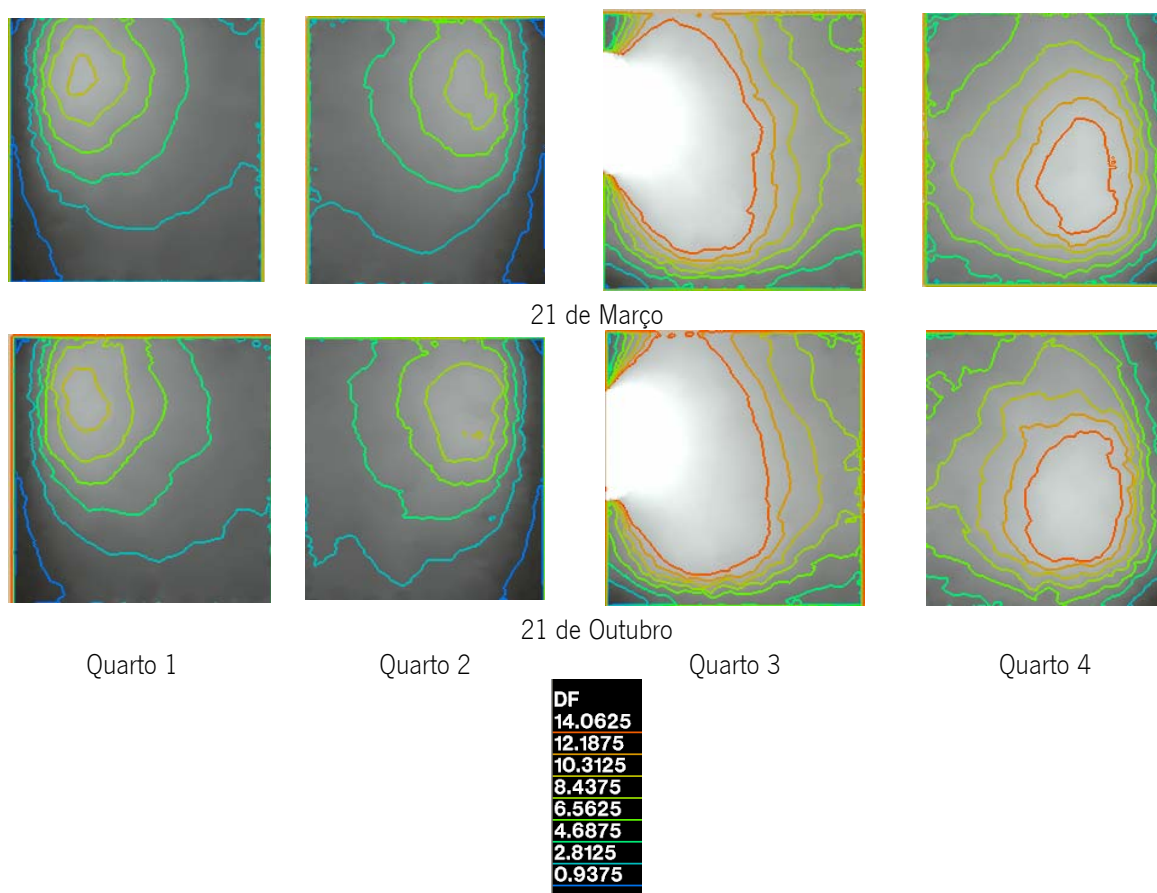


Figura III.33 – FLD nos quartos da Habitação 10 estudados

Tabela III.50 – FLD para os compartimentos da Habitação 10 estudados

Elemento	Sala 3	Cozinha	Sala 1	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4
FLD em 21 de Março (%)	5,1	4,7	2,5	4,5	4,1	1,5	7,1
FLD em 21 de Outubro (%)	5,2	4,8	2,7	4,6	4,2	1,7	7,3
FLD recomendados (%)	1,0	2,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5

Como se pode verificar na Tabela III.50 os valores de FLD cumprem as recomendações da CIE (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

### Habitação 11

A Habitação 11 é uma habitação unifamiliar isolada construída em 2003, localizada na Póvoa de Lanhoso (Zona Climática I2V2), orientada a Oeste, com 125.9 m<sup>2</sup>.

As paredes exteriores são duplas, sendo o pano exterior de alvenaria de pedra com 12 cm e o pano interior de tijolo furado com 11 cm, com 4 cm de poliestireno expandido preenchendo parcialmente a caixa-de-ar de 6 cm, rebocadas no exterior e estucadas no interior. As paredes divisórias são simples de 11 cm, estucadas em ambas as faces. Os vidros são duplos (6+6+8) mm, instalados em caixilharia metálica de correr.

A cobertura é inclinada, com telha e barro vermelho, constituída por uma aligeirada com abobadilha cerâmica com 20 cm, camada de forma com 5 cm e 4 cm de poliestireno expandido sob a telha.

Na Figura III.34 representa-se uma perspectiva da Habitação 11 e Figura III.35 apresenta-se a planta.

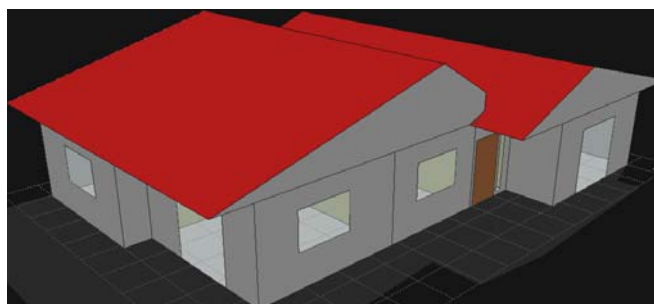


Figura III.34 – Perspectiva da Habitação 11

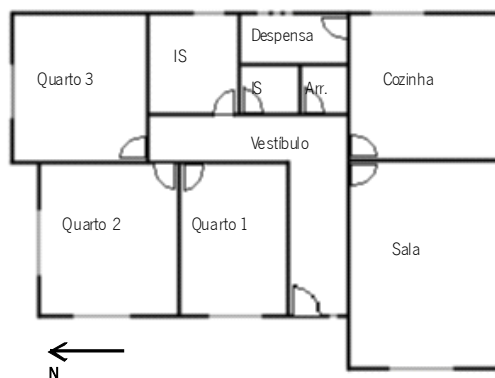


Figura III.35 – Planta da Habitação 11

Na Figura III.36 na Figura III.37 apresenta-se os resultados da previsão do FLD nos diferentes compartimentos da Habitação 11 no dia 21 de Março e para o dia 21 de Outubro.

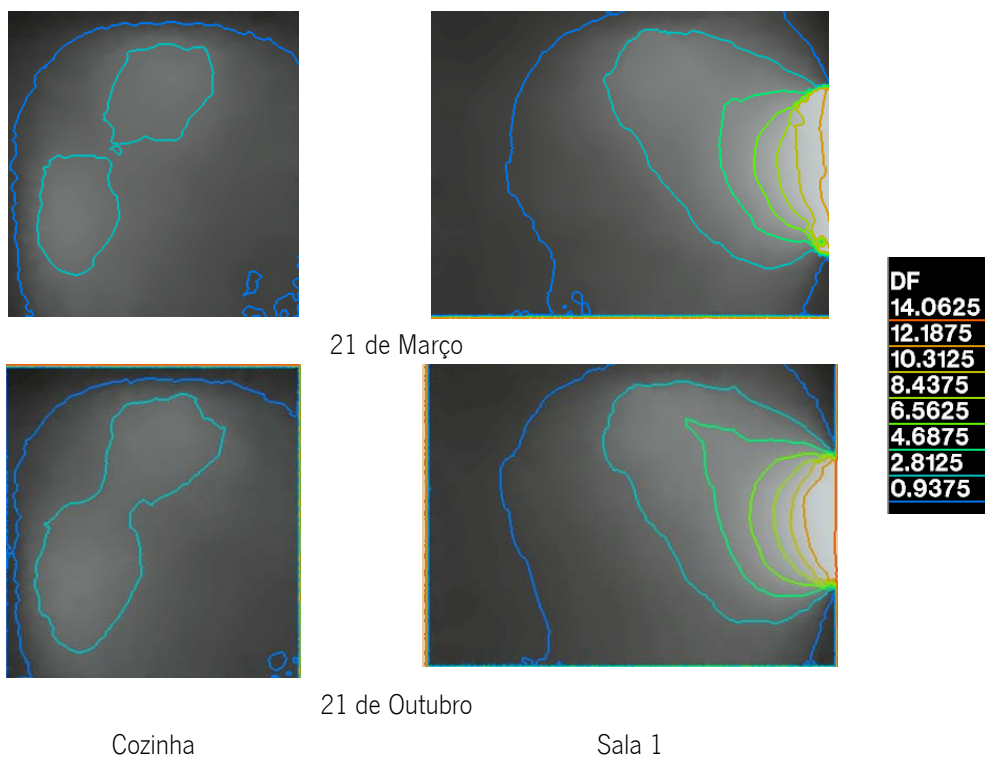


Figura III.36 – FLD na cozinha e na sala da Habitação 11

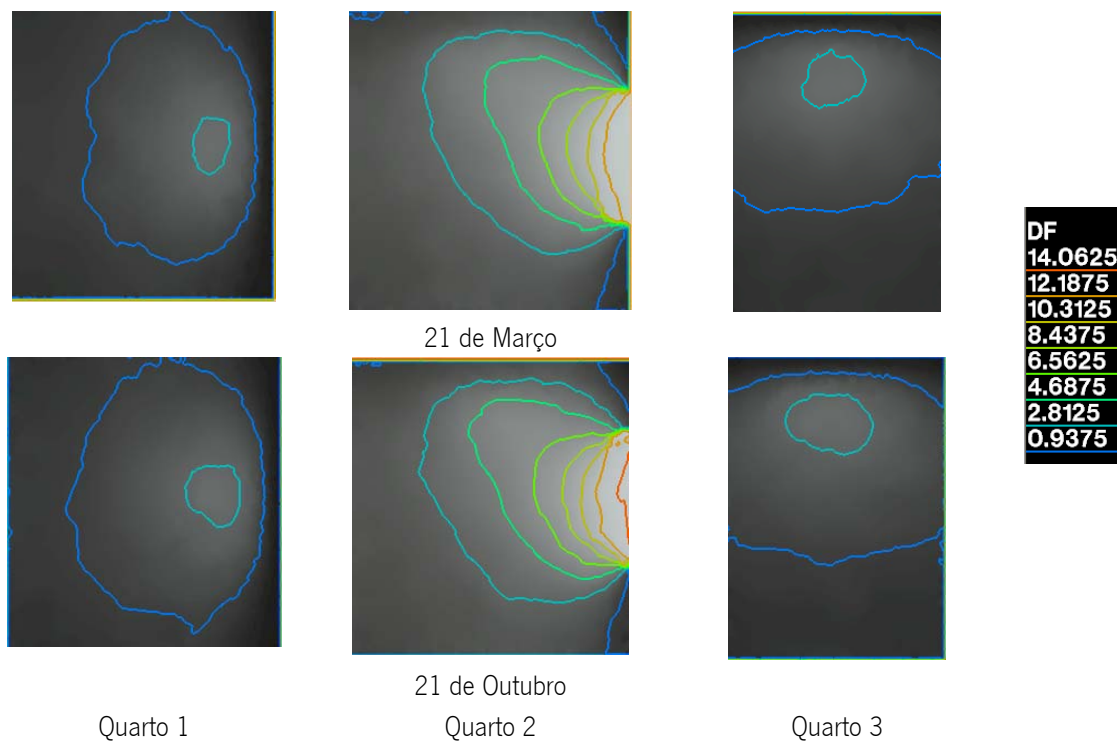


Figura III.37 – FLD nos quartos da Habitação 11 estudados

Na Tabela III.51 apresentam-se os valores de FLD previstos para os diferentes compartimentos da Habitação 11 estudados.

Tabela III.51 – FLD para os compartimentos da Habitação 10 estudados

Elemento	Sala	Cozinha	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3
FLD em 21 de Março (%)	2,7	2,3	1,1	2,8	1,0
FLD em 21 de Outubro (%)	2,7	2,3	1,2	3,0	1,1
FLD recomendados (%)	1,0	2,0	0,5	0,5	0,5

Como se pode verificar na Tabela III.51 os valores de FLD cumprem as recomendações da CIE (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993; Santos, 2001; Santos, 2005).

Em geral as condições de iluminação natural são suficientes, excepto em compartimentos profundos e quando existe uma lavandaria entre o exterior e a cozinha.



## ANEXO IV - Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios

Neste anexo são apresentados os resultados dos ensaios realizados in situ em edifícios portugueses.

As medições realizadas tiveram como objectivo a caracterização da qualidade do ambiente interior através da caracterização das condições de conforto térmico, da qualidade do ar interior, das condições de iluminação natural, do nível sonoro no interior dos edifícios e do nível de isolamento sonoro dos elementos da envolvente da habitação em análise.

As condições de conforto térmico foram caracterizadas através da avaliação do comportamento higrotérmico, tendo sido medidas a temperatura ambiente, a temperatura do bolbo negro, a humidade relativa e a velocidade do ar. A actividade metabólica e a resistência térmica dos ocupantes foram também caracterizadas.

Foram também medidas as concentrações de poluentes (dióxido e monóxido de carbono, ozono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis, partículas respiráveis e radão), para avaliar a qualidade do ar interior. A taxa de renovação horária dos edifícios foi também medida, usando uma porta ventiladora.

O conforto acústico, tal como referido foi caracterizado através da medição do nível sonoro no interior das diversas habitações estudadas. Foram também realizados 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.

Foram ainda avaliadas as condições de iluminação natural, através da medição do nível de iluminância e do Factor de Luz do Dia.

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.

### IV.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.

#### IV.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 destacar-se as normas: ASHRAE 55 de 2004, EN ISO 7730 de 2005 e da EN ISO 7726 de 1998. Quanto a regulamentação portuguesa, a nível de edifícios de habitação existem três regulamentos: 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 dos dois primeiros regulamentos referidos.

#### IV.1.2. Avaliação do comportamento higrotérmico in situ

##### Metodologia

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.

A norma EN ISO 7726 define a linha orientadora para a medição dos parâmetros físicos de ambientes térmicos (moderados e extremos). A EN ISO 7730 apresenta os 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.

A avaliação das condições de conforto térmico foi efectuada com base nos princípios referidos na norma EN ISO 7726. O período de medição foi de meia hora em cada compartimento (Quarto, sala e cozinha), iniciado pelo menos meia hora após a chegada dos ocupantes. Estas medições foram realizadas a cerca de 1,10 metros de altura, no centro dos compartimentos.

Assim, para a avaliação do conforto térmico, foi analisada a variação dos parâmetros medidos ao longo do período de avaliação. A temperatura ambiente e a humidade relativa foram comparadas com os valores recomendados, respectivamente, 20 a 25°C (definida no RCCTE) e 30% 70%, para evitar o aparecimento de condensações, bolores e ácaros.

Dos resultados dos ensaios efectuados foram obtidos os valores médios de temperatura ambiente, humidade relativa, velocidade do ar e temperatura do bolbo negro.

De seguida, foi efectuado o cálculo dos índices PMV e PPD, segundo a norma EN ISO 7730, tendo em conta as variáveis físicas médias (temperatura do ar, humidade relativa, temperatura radiante, e velocidade do ar) e as variáveis humanas, o metabolismo e o isolamento térmico das roupas, definidas pela EN 15251, respectivamente 1.2 met (condições sedentárias) e 1 clo (para situação de inverno).

No Edifício 1 (Habitação 1, 2 e 3) não foram realizadas medições para a avaliação das condições de conforto térmico.

##### *Edifício 2 - Habitação 2.1*

O conforto térmico foi medido para condições meteorológicas de vento fraco e temperatura média exterior de cerca de 14°C. Na Habitação 2.1, um apartamento T1, com 49 m<sup>2</sup>, não existia nenhum sistema de aquecimento ligado.

De seguida serão apresentadas os resultados obtidos da avaliação da situação de conforto térmico nos três compartimentos analisados.



## Sala 2.1

Na Figura IV.1 apresentam-se os valores medidos de temperatura ambiente (a traço contínuo) e humidade relativa (a traço ponto), na sala da Habitação 2.1, ao longo do período de medição. Na Tabela IV.1 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na sala da Habitação 2.1 ao longo do período de medição.

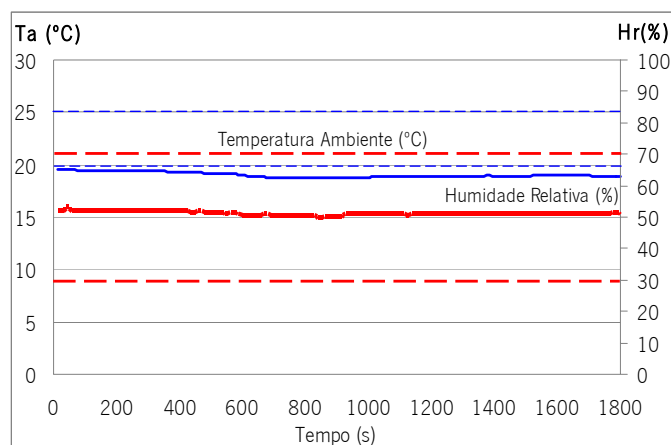


Figura IV.1 – Condições higrotérmicas na sala da Habitação 2.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.1 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 2.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,7	19,0	19,5
Temperatura do bolbo negro (°C)	19,1	19,3	19,6
Velocidade do ar (m/s)	0,00	0,003	0,03
Humidade relativa (%)	49,6	51,0	53,3
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		19,2	
PMV		- 0,5	
PPD (%)		10,2	

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas apresentados na Figura IV.1, é possível concluir que temperatura ambiente se encontrava ligeiramente abaixo da temperatura de referência definida pelo RCCTE para condições de Inverno, não sendo essa diferença muito significativa. A humidade relativa estava dentro da gama recomendada de valores (30% a 70%).

Na Figura IV.2 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados.

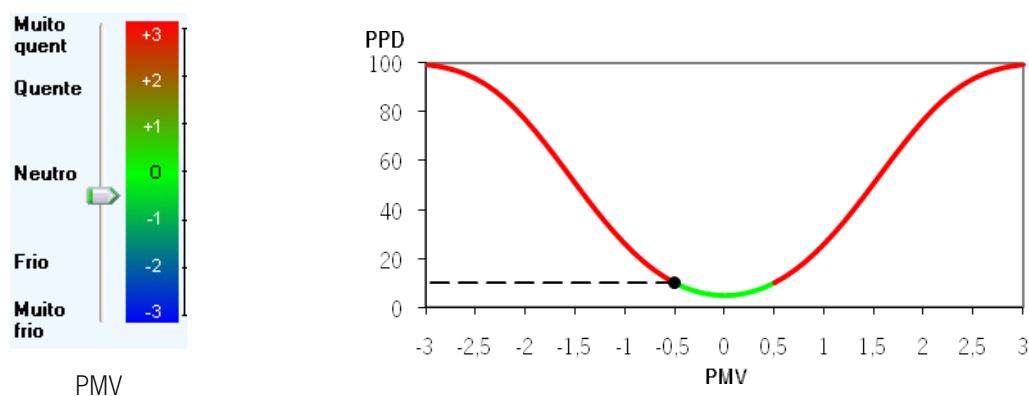


Figura IV.2 – Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 2.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.2 que as condições térmicas medidas proporcionavam um estado de conforto térmico de ligeiramente frio.

### Cozinha 2.1

Na Figura IV.3 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos na Cozinha 2.1, ao longo do período de medição.

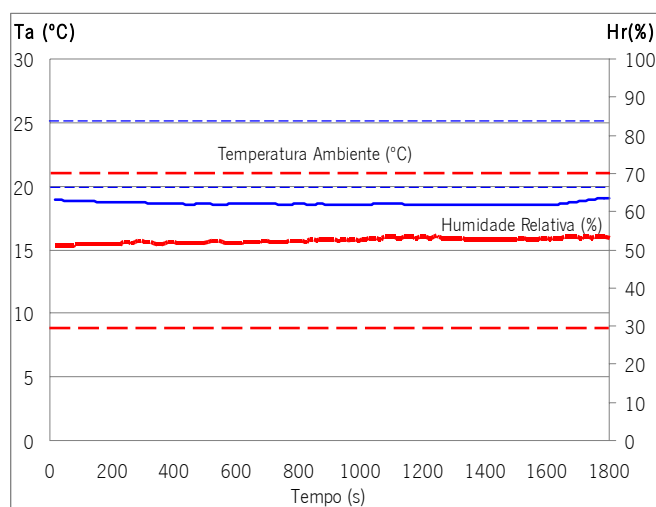


Figura IV.3 – Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 2.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na Cozinha 2.1 (Figura IV.3), é possível concluir que temperatura ambiente se encontrava ligeiramente abaixo do valor de referência definida pelo RCCTE. A humidade relativa medida é de aproximadamente de 50%, estando dentro do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

Na Tabela IV.2 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na Cozinha 2.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Tabela IV.2 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 2.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,5	18,6	19,0
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,6	18,7	19,0
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,001	0,060
Humidade relativa (%)	50,7	52,2	53,5
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		18,7	
PMV		- 0,6	
PPD (%)		12,5	

Na Figura IV.4 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Cozinha 2.1.

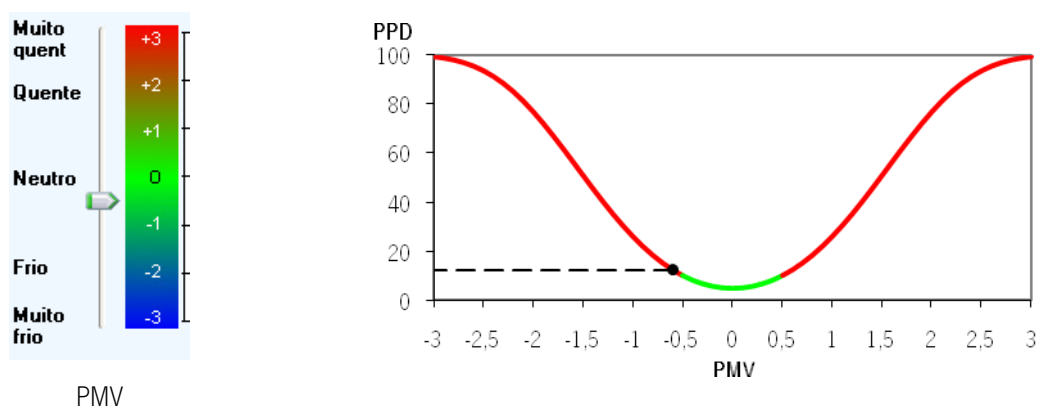


Figura IV.4 - Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 2.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.4 que os ocupantes estão num estado de conforto térmico situado próximo do ligeiramente frio.

### Quarto 2.1

Na Figura IV.3 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos no Quarto 2.1, ao longo do período de medição.

Os resultados referentes às condições higrotérmicas apresentados na Figura IV.3 mostram que a temperatura ambiente registada se encontrava próximo do limite inferior do intervalo de temperaturas de referência definida pelo RCCTE. A humidade relativa estava dentro do intervalo de valores recomendado (30 a 70%).

Na Tabela IV.3 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos no Quarto 2.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

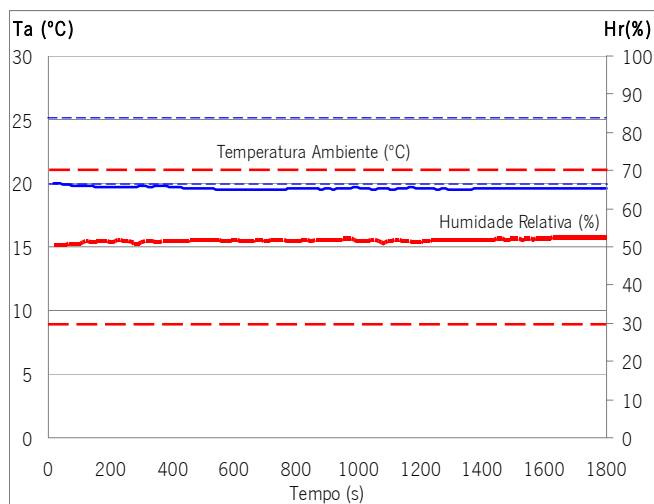


Figura IV.5 – Condições higrotérmicas no quarto da Habitação 2.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.3 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Quarto 2.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	19,5	19,6	20,0
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,5	19,3	19,5
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,004	0,050
Humidade relativa (%)	50,3	51,6	52,5
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		19,5	
PMV		- 0,4	
PPD (%)		8,3	

Na Figura IV.6 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para o Quarto 2.1.

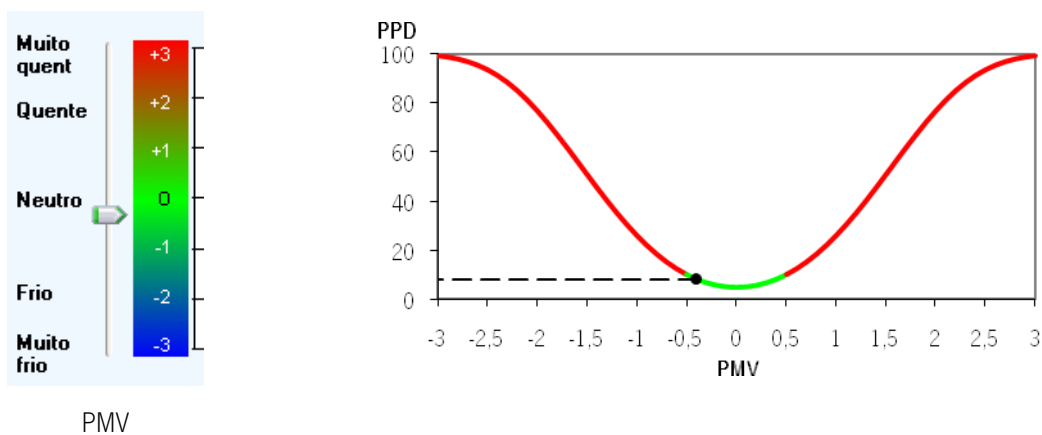


Figura IV.6 – Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 2.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.6 que os ocupantes estão num estado de conforto térmico próximo ao ligeiramente frio.

### *Edifício 3 - Habitação 3*

A Habitação 3 é uma moradia unifamiliar isolada de tipologia T4 com 2 pisos, com cerca de 450 m<sup>2</sup>, não possuindo nenhum sistema de aquecimento ligado.

As medições de caracterização das condições de conforto térmico foram efectuadas num dia com céu encoberto, vento fraco e temperatura exterior média próxima de 12 °C.

De seguida serão apresentadas os resultados obtidos da avaliação da situação de conforto térmico nos três compartimentos analisados.

### Sala 3

Na Figura IV.7 apresentam-se os valores medidos de temperatura ambiente (a traço contínuo) e humidade relativa (a traço ponto), na Sala 3, ao longo do período de medição.

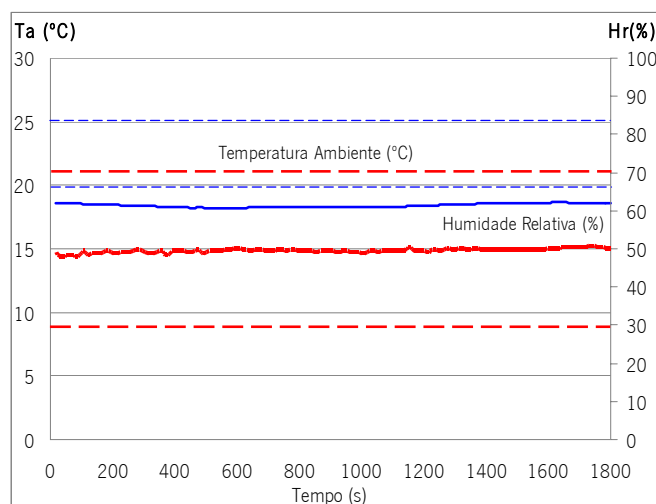


Figura IV.7 – Condições higrotérmicas na sala da Habitação 3 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas na Sala 3, apresentados na Figura IV.7, é possível concluir que temperatura ambiente, de cerca de 18,42°C, era ligeiramente inferior à temperatura de referência definida pelo RCCTE para as condições de Inverno. A humidade relativa estava dentro da gama recomendada de valores (30% a 70%).

Na Tabela IV.4 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na sala da Habitação 3 ao longo do período de medição.

Tabela IV.4 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 3

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,2	18,4	18,7
Temperatura do bolbo negro (°C)	19,0	19,8	20,6
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,005	0,050
Humidade relativa (%)	48,0	49,4	50,6
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		19,2	
PMV		- 0,5	
PPD (%)		10,2	

Na Figura IV.8 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados.

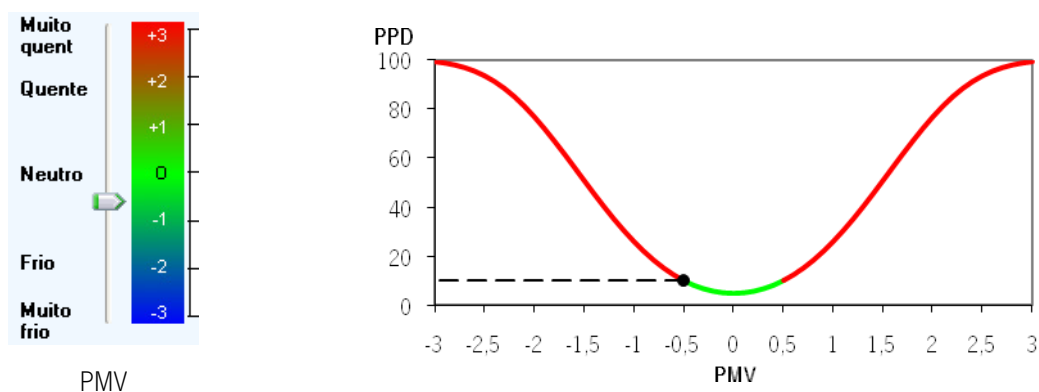


Figura IV.8 – Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 3

Verifica-se através da análise da Figura IV.8 que as condições térmicas medidas na Sala 3 proporcionavam um estado de conforto térmico de ligeiramente frio.

### Cozinha 3

Na Figura IV.9 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos na Cozinha 3, ao longo do período de medição.

Na Tabela IV.5 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na Cozinha 3 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas de Inverno realizadas na Cozinha 3 (Figura IV.9 e Tabela IV.5), é possível concluir que temperatura ambiente era da ordem dos 18,80°C, sendo, por isso, ligeiramente abaixo do valor de referência definida pelo RCCTE. A humidade relativa medida é de aproximadamente de 50%, estando dentro do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

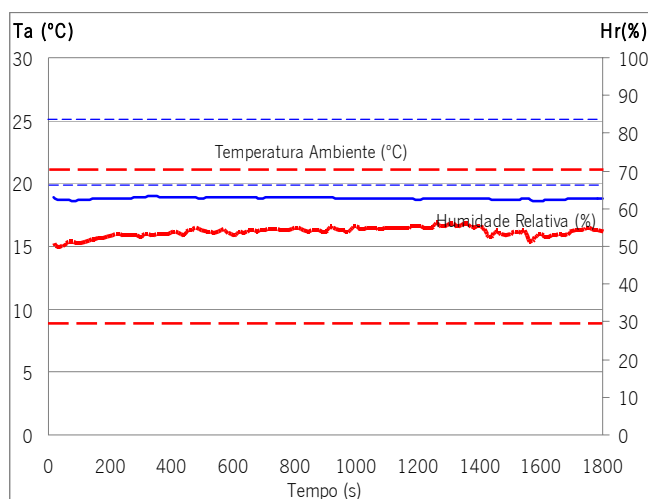


Figura IV.9 – Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 3 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.5 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 3

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,6	18,8	19,0
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,9	19,1	19,9
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,005	0,06
Humidade relativa (%)	49,6	53,6	56,0
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		19,0	
PMV		- 0,5	
PPD (%)		10,2	

Na Figura IV.10 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Cozinha 3.

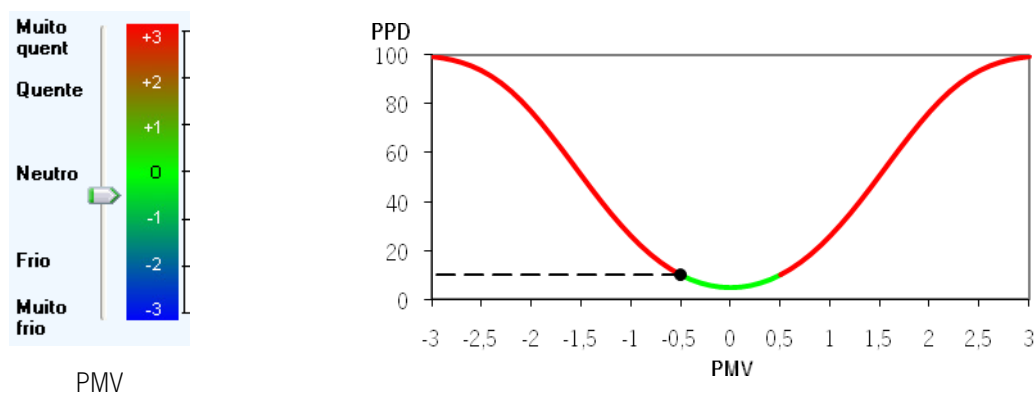


Figura IV.10 – Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 3

Verifica-se através da análise da Figura IV.10 que os ocupantes estão num estado de conforto térmico situado de ligeiramente frio.

### Quarto 3

Na Figura IV.11 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos no Quarto 3, ao longo do período de medição.

Na Tabela IV.6 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos no Quarto 3 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Os resultados referentes às condições higrotérmicas apresentados na Figura IV.11 e na Tabela IV.6 mostram que a temperatura ambiente registada, sendo o valor mínimo de 19,6°C, se encontrava muito próximo do limite inferior do intervalo de temperaturas de referência definido pelo RCCTE. A humidade relativa estava dentro da gama recomendada de valores (30% a 70%).

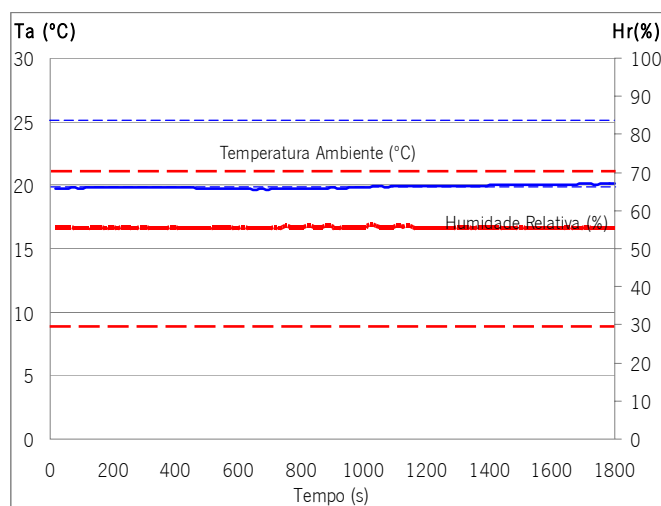


Figura IV.11 – Condições higrotérmicas no Quarto da Habitação 3 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.6 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 3

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	19,6	19,8	20,1
Temperatura do bolbo negro (°C)	19,7	20,2	20,5
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,004	0,030
Humidade relativa (%)	55,0	55,4	56,1
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		20,1	
PMV		-0,3	
PPD (%)		6,9	

Na Figura IV.12 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para o Quarto 3.



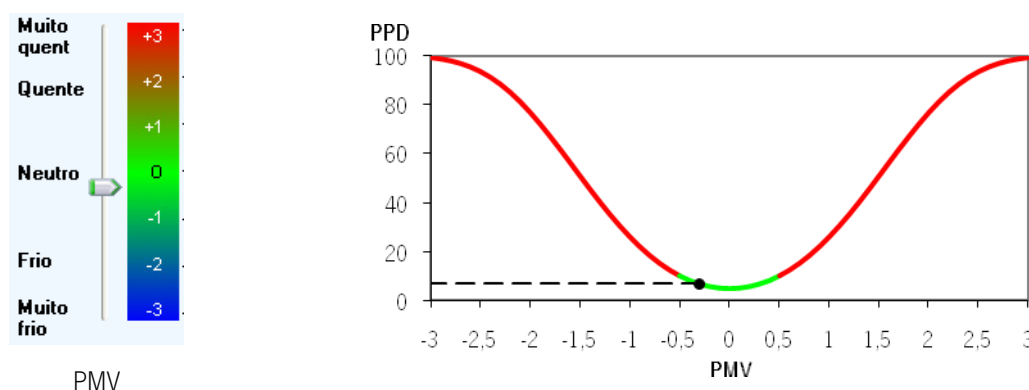


Figura IV.12 – Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 3

Verifica-se através da análise da Figura IV.12 que os ocupantes do Quarto 3 se encontravam num estado de conforto térmico próximo ao neutro

#### *Edifício 4 - Habitação 4*

A Habitação 4 é uma habitação unifamiliar geminada, do tipo T3, com cave parcialmente enterrada e dois andares, com 310 m<sup>2</sup>.

As medições para a caracterização das condições de conforto térmico foram efectuadas num dia ligeiramente chuvoso, com céu encoberto, vento fraco e temperatura média exterior próxima dos 12°C. Na sala da Habitação 4 existe uma lareira com recuperador de calor, sendo a única fonte de calor existente.

De seguida serão apresentadas os resultados obtidos da avaliação da situação de conforto térmico nos três compartimentos analisados.

#### **Sala 4**

Na Figura IV.13 apresentam-se os valores medidos de temperatura ambiente (a traço contínuo) e humidade relativa (a traço ponto), na Sala 4, ao longo do período de medição. Na Tabela IV.7 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na sala da Habitação 4 ao longo do período de medição.

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas na Sala 4, apresentados na Figura IV.13 e na Tabela IV.7, é possível verificar que temperatura ambiente, de cerca de 20,8°C, era ligeiramente superior à temperatura mínima de referência definida pelo RCCTE para as condições de Inverno. A humidade relativa, cerca de 50%, encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%).

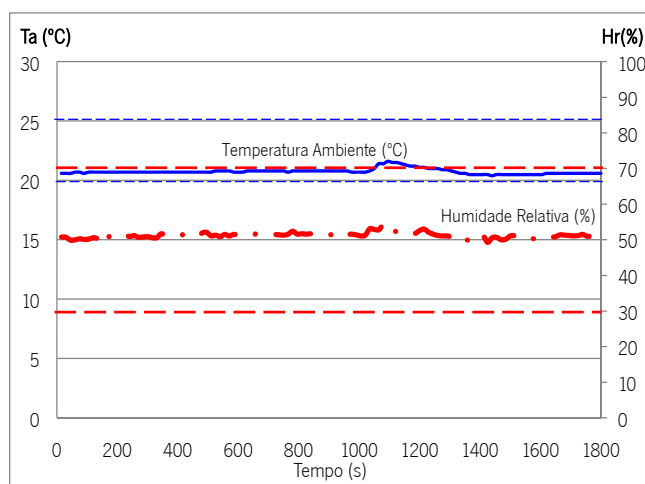


Figura IV.13 – Condições higrótêmicas na sala da Habitação 4 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.7 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 4

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	20,4	20,8	21,6
Temperatura do bolbo negro (°C)	20,8	21,3	21,7
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,005	0,060
Humidade relativa (%)	49,3	51,2	54,1
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		21,1	
PMV		- 0,1	
PPD (%)		5,2	

Na Figura IV.14 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados.

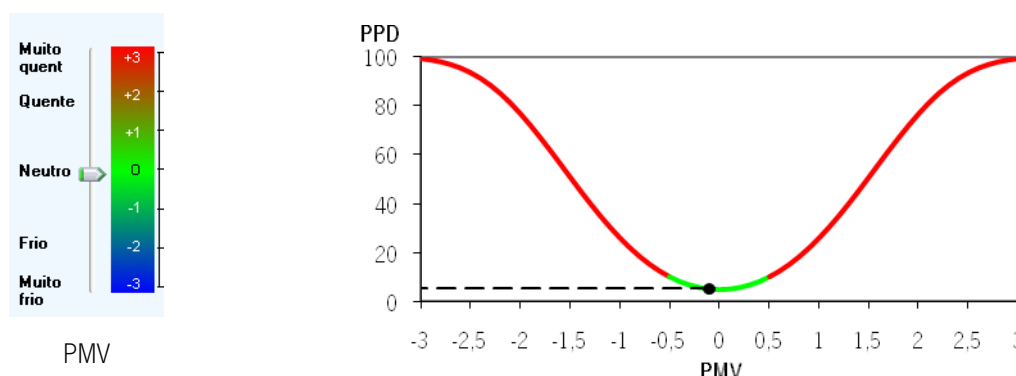


Figura IV.14 – Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 4

Verifica-se através da análise da Figura IV.14 que as condições térmicas medidas na Sala 4 proporcionavam um estado de conforto térmico situado próximo do neutro.

## Cozinha 4

Na Figura IV.15 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos na Cozinha 4, ao longo do período de medição.

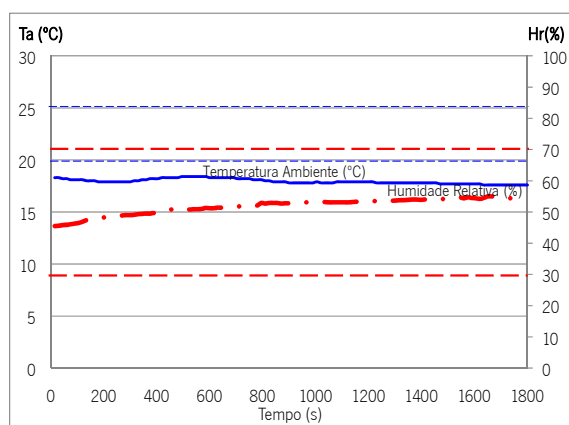


Figura IV.15 - Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 4 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na Cozinha 4 (Figura IV.15), é possível concluir que temperatura ambiente era da ordem dos 18°C, sendo inferior ao valor de referência definido pelo RCCTE. A humidade relativa média medida é de aproximadamente de 52%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendados (30 % a 70%).

Na Tabela IV.8 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na Cozinha 4 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Tabela IV.8 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 4

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	17,6	18,0	18,4
Temperatura do bolbo negro (°C)	17,3	17,9	21,2
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,002	0,040
Humidade relativa (%)	45,5	51,9	55,0
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		18,0	
PMV		-0,8	
PPD (%)		18,5	

Na Figura IV.16 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Cozinha 4.

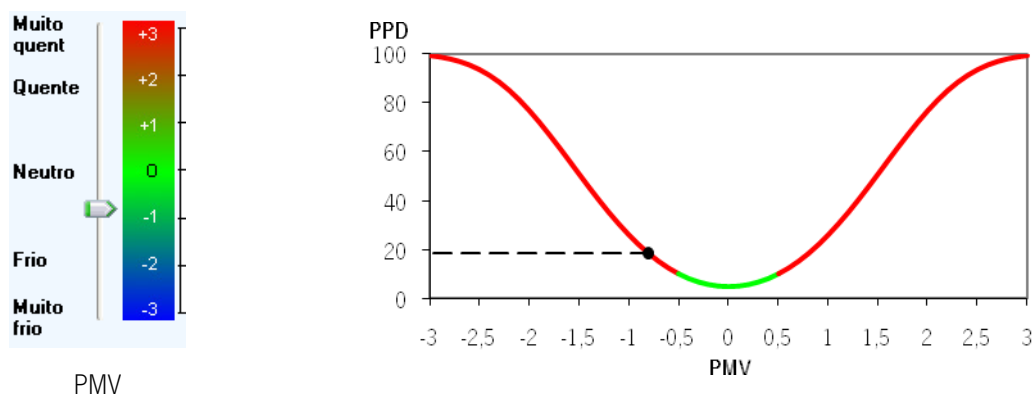


Figura IV.16 – Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 4

Verifica-se através da análise da Figura IV.16 que os ocupantes estão num estado de conforto térmico situado entre o ligeiramente frio e o frio.

#### Quarto 4

Na Figura IV.17 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos no Quarto 4, durante o período de medição.

Na Tabela IV.9 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos no Quarto 4 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Os resultados referentes às condições higrotérmicas no Quarto 4, apresentados na Figura IV.17 e na Tabela IV.9, mostram que a temperatura ambiente registada, sendo o valor mínimo de 16,5°C, se encontrava abaixo do valor recomendado para o inverno pelo RCCTE. A humidade relativa encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30 a 70%).

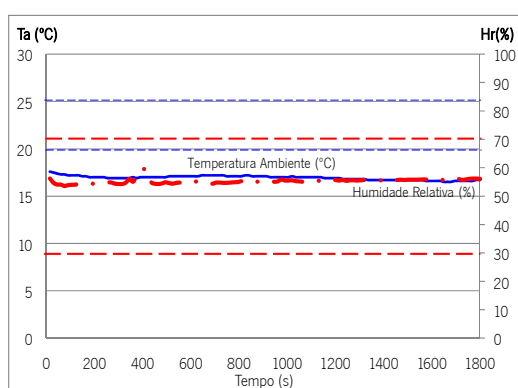


Figura IV.17 – Condições higrotérmicas no Quarto 4 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.9 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 4

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	16,5	16,9	17,6
Temperatura do bolbo negro (°C)	16,6	17,0	17,3
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,016	0,110
Humidade relativa (%)	53,6	55,3	59,5
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		17,0	
PMV		- 1,0	
PPD (%)		26,1	

Na Figura IV.18 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para o Quarto 4.

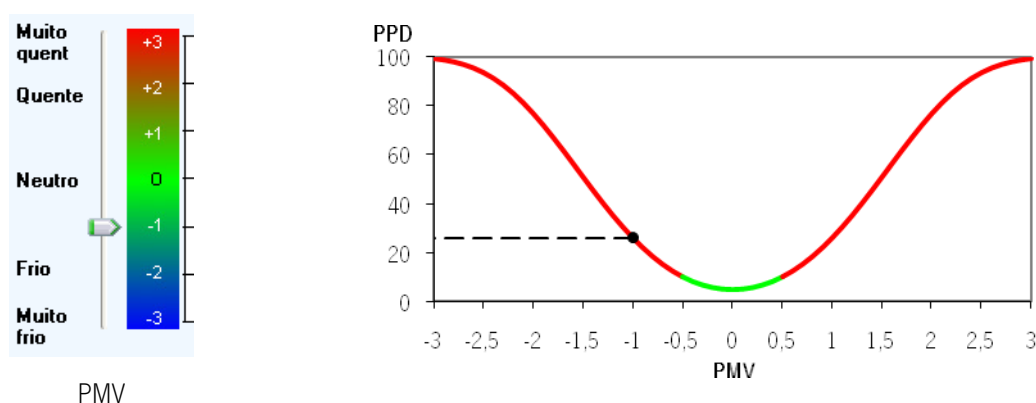


Figura IV.18 – Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 4

Verifica-se através da análise da Figura IV.18 que os ocupantes do Quarto 4 se encontravam num estado de conforto térmico correspondente ao ligeiramente frio.

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 Habitação 5.1 é um apartamento localiza-se no 3º Andar, de tipologia T3 com 123 m<sup>2</sup>. A fachada principal está orientada a Noroeste.

As medições para a caracterização das condições de conforto térmico foram efectuadas num dia com céu encoberto com vento fraco e temperatura média exterior próxima dos 12°C. Na Habitação 5.1 não se encontrava nenhum sistema de aquecimento ligado.

De seguida serão apresentadas os resultados obtidos da avaliação da situação de conforto térmico nos três compartimentos analisados.

### Sala 5.1

Na Figura IV.19 apresentam-se os valores medidos de temperatura ambiente (a traço contínuo) e humidade relativa (a traço ponto), na Sala 5.1, ao longo do período de medição. Na Tabela IV.10 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na sala da Habitação 5.1 ao longo do período de medição.

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas na Sala 5.1, apresentados na Figura IV.19 e na Tabela IV.10, é possível verificar que temperatura ambiente, de cerca de 17°C, era inferior à temperatura ambiente de referência definida pelo RCCTE para as condições de Inverno.

A humidade relativa é em média de cerca de 61%, atingindo valores máximos de 71%, ultrapassando num curto período, 2 minutos, os valores recomendados (30% a 70%).

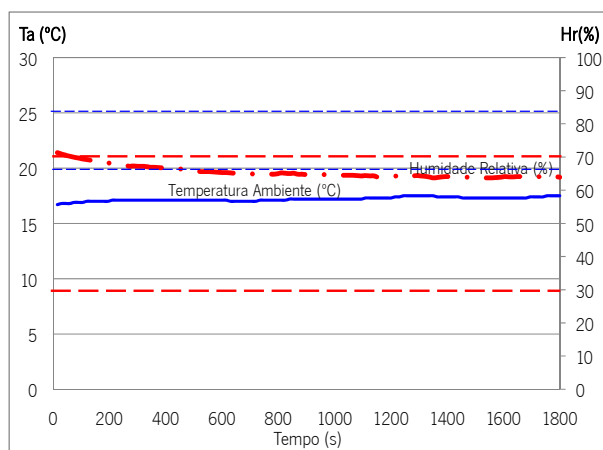


Figura IV.19 – Condições higrotérmicas na sala da Habitação 5.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.10 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Sala 5.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	16,7	17,2	17,5
Temperatura do bolbo negro (°C)	14,6	16,6	17,1
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,010	0,080
Humidade relativa (%)	63,7	65,4	71,3
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		16,9	
PMV		- 0,9	
PPD (%)		22,1	

Na Figura IV.20 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Sala 5.1.

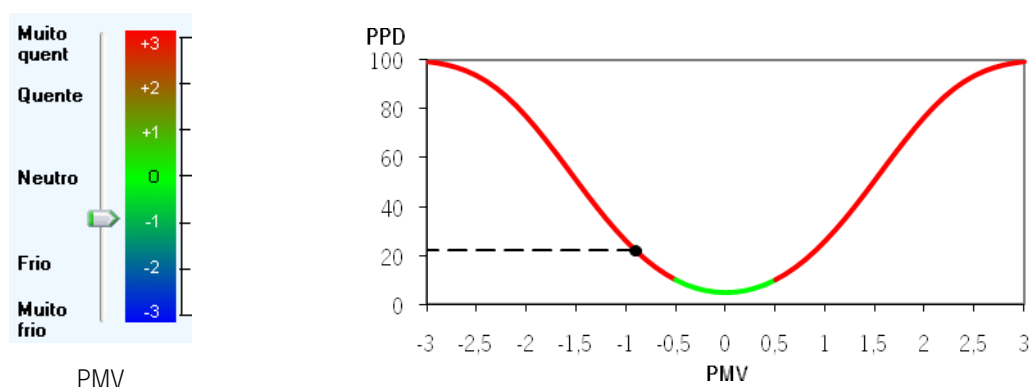


Figura IV.20 – Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 5.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.20 que os ocupantes se encontram numa situação de desconforto ( $17^{\circ}\text{C}$  e 65% de Hr), com sensação térmica de ligeiramente frio e cerca de 22% de descontentes.

### Cozinha 5.1

Na Figura IV.21 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos na Cozinha 5.1, ao longo do período de medição.

Na Tabela IV.11 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na Cozinha 5.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na Cozinha 5.1 (Figura IV.21 e Tabela IV.11), é possível concluir que temperatura ambiente média, da ordem dos  $17^{\circ}\text{C}$ , era inferior ao valor de referência definido pelo RCCTE para o inverno. A humidade relativa média medida é de 61,5%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendados (30% a 70%).

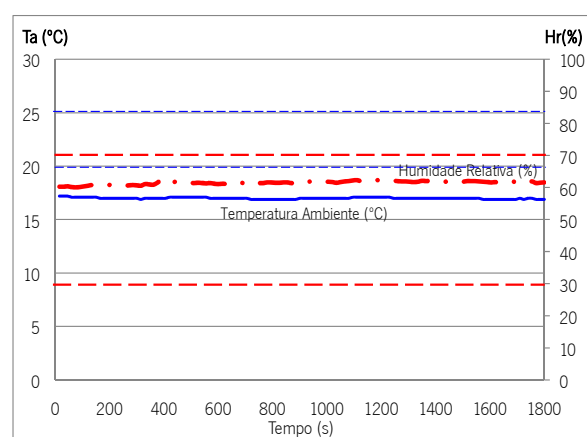


Figura IV.21 – Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 5.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.11 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 5.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	16,9	17,0	17,2
Temperatura do bolbo negro (°C)	16,9	17,1	17,3
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,008	0,100
Humidade relativa (%)	60,1	61,5	62,3
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		17,1	
PMV		- 0,9	
PPD (%)		22,1	

Na Figura IV.22 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Cozinha 5.1.

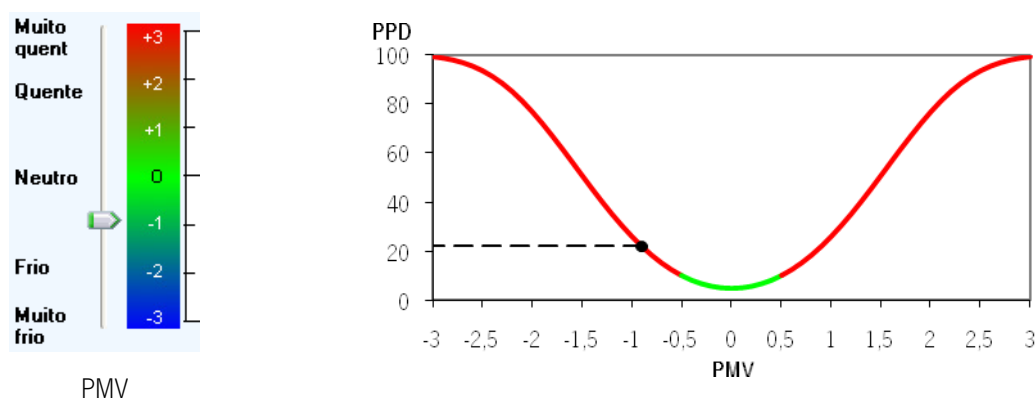


Figura IV.22 - Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 5.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.22 e da Tabela IV.11 que os ocupantes estão num estado de desconforto térmico ( $T_r = 17^\circ\text{C}$  e  $H_r = 61,5\%$ ), sendo a sensação térmica de ligeiramente frio.

### Quarto 5.1

Na Figura IV.23 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) registados no Quarto 5.1, durante o período de medição.

Na Tabela IV.12 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos no Quarto 5.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.



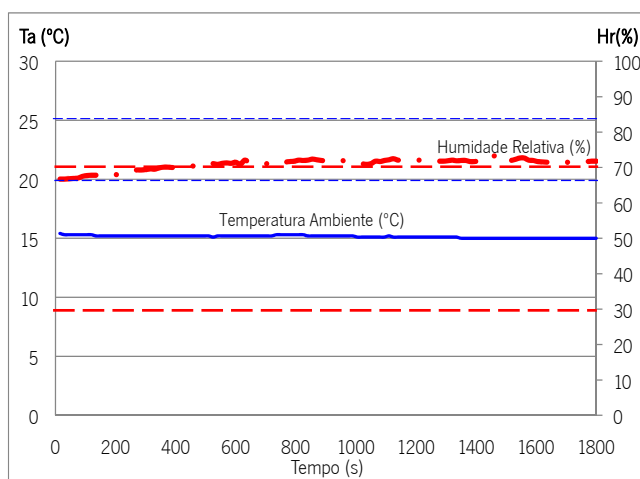


Figura IV.23 – Condições higrotérmicas no Quarto 5.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.12 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Quarto 5.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	15,0	15,1	15,3
Temperatura do bolbo negro (°C)	15,1	15,4	15,9
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,001	0,020
Humidade relativa (%)	66,7	71,8	73,6
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		15,3	
PMV		- 1,3	
PPD (%)		40,3	

Os resultados referentes às condições higrotérmicas no Quarto 5.1, apresentados na Figura IV.23 e na Tabela IV.12, mostram que a temperatura ambiente registada, da ordem de 15°C, se encontrava muito abaixo do valor recomendado para o inverno pelo RCCTE. A humidade relativa encontrava-se acima do valor máximo recomendado (70%), durante grande parte do período de medição.

Na Figura IV.24 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para o Quarto 5.1.

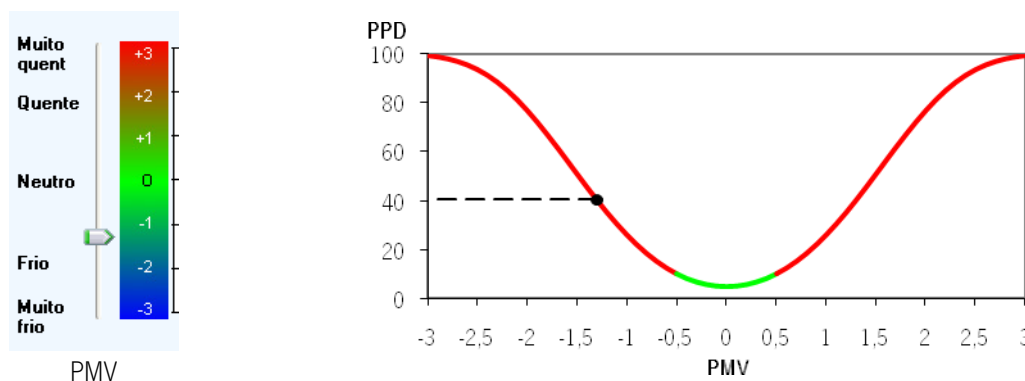


Figura IV.24 – Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 5.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.24 e da Tabela IV.12 que os ocupantes do Quarto 5.1, para as condições registadas, se encontravam num estado de desconforto situado entre o ligeiramente frio e o frio.

### ***Edifício 6 - Habitação 6.1***

A Habitação 6.1 é um apartamento de tipologia T3, com 68 m<sup>2</sup> e localiza-se no 5º andar de um edifício multifamiliar. A orientação da fachada principal é Norte.

As medições para a caracterização das condições de conforto térmico foram efectuadas num dia de céu encoberto, vento fraco e temperatura média exterior de 15°C.

Na Habitação 6.1 não existiam sistemas de aquecimento em funcionamento aquando da realização das medições.

De seguida serão apresentadas os resultados obtidos da avaliação da situação de conforto térmico nos três compartimentos analisados.

### **Sala 6.1**

Na Figura IV.25 apresentam-se os valores medidos de temperatura ambiente (a traço contínuo) e humidade relativa (a traço ponto), na Sala 6.1, ao longo do período de medição.

Na Tabela IV.13 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na sala da Habitação 6.1 ao longo do período de medição.

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas na Sala 6.1, apresentados na Figura IV.25 e na Tabela IV.13, é possível verificar que temperatura ambiente, de cerca de 21,9°C, era superior à temperatura mínima de referência definida pelo RCCTE para as condições de Inverno. A humidade relativa, cerca de 32%, encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%).

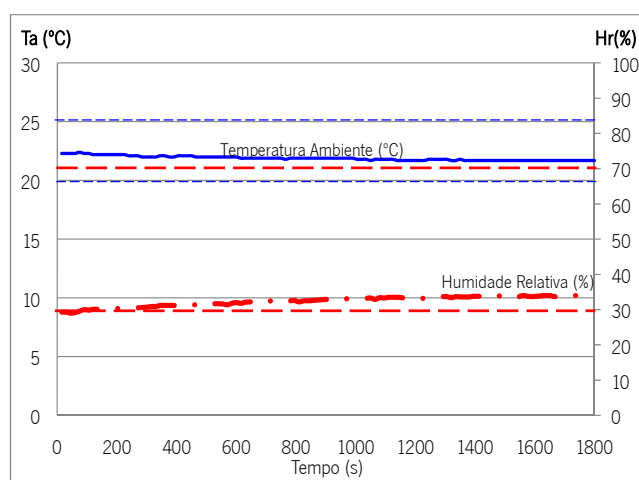


Figura IV.25 – Condições higrotérmicas na sala da Habitação 6.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.13 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 6.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	21,7	21,9	22,4
Temperatura do bolbo negro (°C)	21,5	21,9	22,7
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,033	0,260
Humidade relativa (%)	29,0	32,4	34,2
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		21,9	
PMV		0,0	
PPD (%)		5,0	

Na Figura IV.26 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados na Sala 6.1

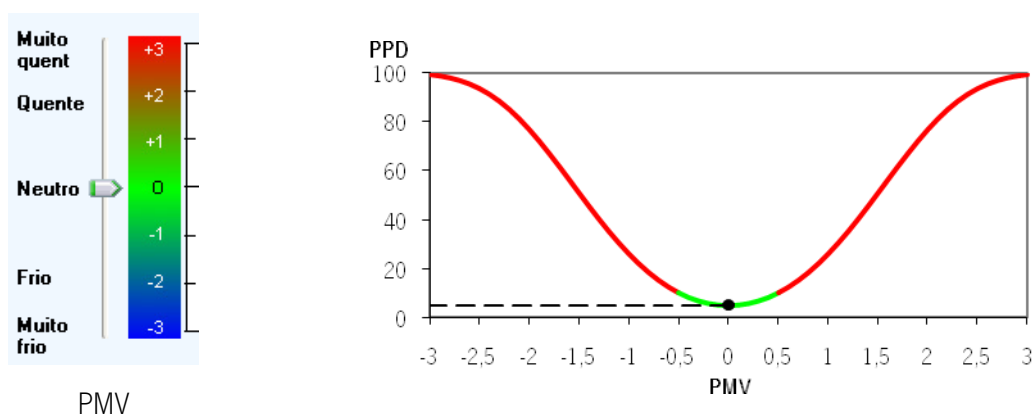


Figura IV.26 – Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 6.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.26 que as condições térmicas registadas na Sala 6.1 proporcionavam um estado de conforto térmico neutro.

### Cozinha 6.1

Na Figura IV.27 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos na Cozinha 6.1, ao longo do período de medição.

Na Tabela IV.14 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na Cozinha 6.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na Cozinha 6.1 (Figura IV.27 e Tabela IV.14), é possível concluir que temperatura ambiente era da ordem dos 21,7°C, sendo superior ao valor de referência definida pelo RCCTE para o inverno. A humidade relativa medida é de aproximadamente de 35%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

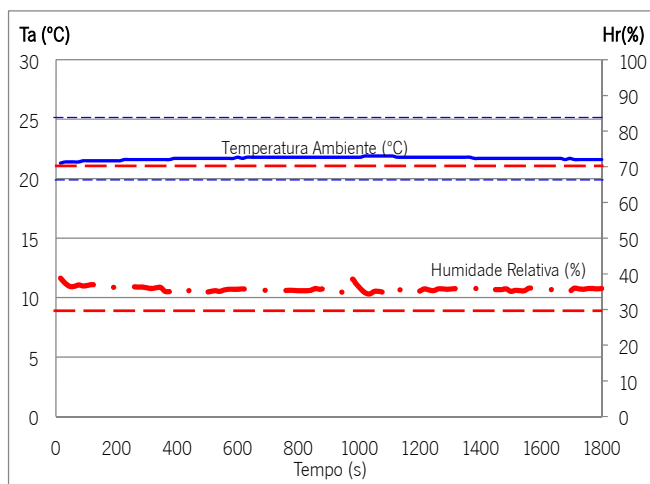


Figura IV.27 – Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 6.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Tabela IV.14 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 6.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	21,3	21,7	21,9
Temperatura do bolbo negro (°C)	20,8	21,8	22,0
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,001	0,060
Humidade relativa (%)	34,4	35,7	38,8
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		21,8	
PMV		0	
PPD (%)		5	

Na Figura IV.28 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Cozinha 6.1.

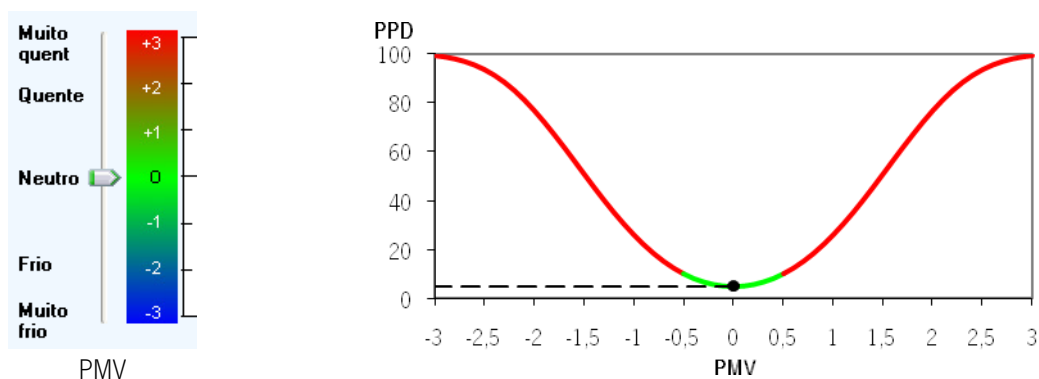


Figura IV.28 – Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 6.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.28 que os ocupantes da Cozinha 6.1 estão num estado neutro de conforto térmico.

### Quarto 6.1

Na Figura IV.29 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos no Quarto 6.1, durante o período de medição.

Na Tabela IV.15 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos no Quarto 6.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

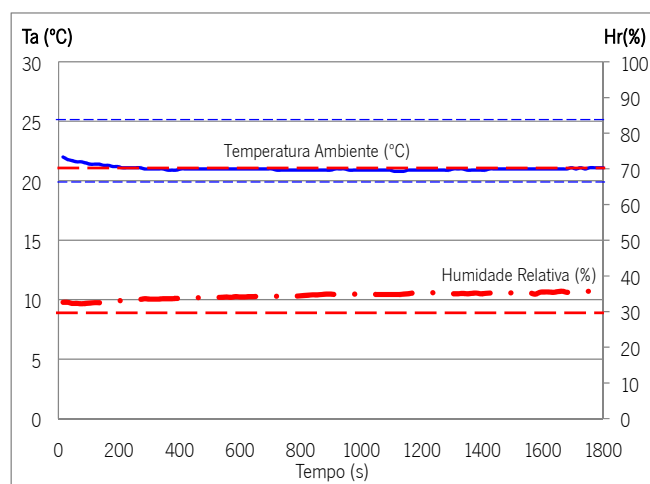


Figura IV.29 – Condições higrotérmicas no Quarto 6.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Os resultados referentes às condições higrotérmicas no Quarto 6.1, apresentados na Figura IV.29 e na Tabela IV.15, mostram a temperatura ambiente, sendo o valor mínimo registado de 20,8°C, sendo este valor superior ao valor recomendado para o inverno pelo RCCTE. A humidade relativa encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%), sendo no entanto próxima do valor mínimo.

Tabela IV.15 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 6.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	20,8	21,0	22,0
Temperatura do bolbo negro (°C)	20,6	21,0	21,8
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,020	0,220
Humidade relativa (%)	32,2	34,4	35,9
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		21,0	
PMV		- 0,2	
PPD (%)		5,8	

Na Figura IV.30 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para o Quarto 6.1.

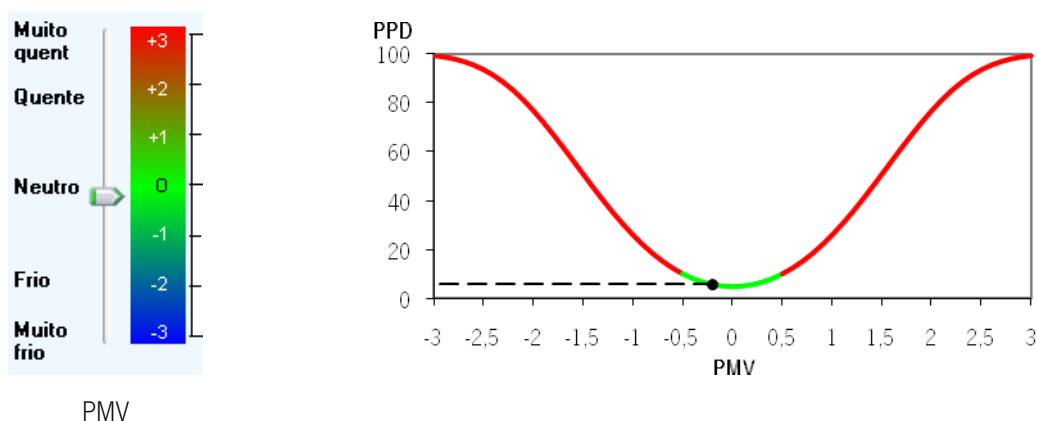


Figura IV.30 – Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 6.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.30 que os ocupantes do Quarto 6.1 se encontravam num estado de conforto térmico entre o neutro e o ligeiramente frio.

### Edifício 7 - Habitação 7.1

A Habitação 7.1 é um apartamento de tipologia T1, com 66 m<sup>2</sup>, situado no R/C de um edifício multifamiliar.

As medições para a caracterização das condições de conforto térmico foram efectuadas num dia com céu encoberto, vento fraco e temperatura média exterior próxima dos 15°C. Na Habitação 7.1 não estava ligado nenhum sistema de aquecimento.

De seguida serão apresentadas os resultados obtidos da avaliação da situação de conforto térmico nos três compartimentos analisados.

#### Sala 7.1

Na Figura IV.31 apresentam-se os valores medidos de temperatura ambiente (a traço contínuo) e humidade relativa (a traço ponto), na Sala 7.1, ao longo do período de medição.

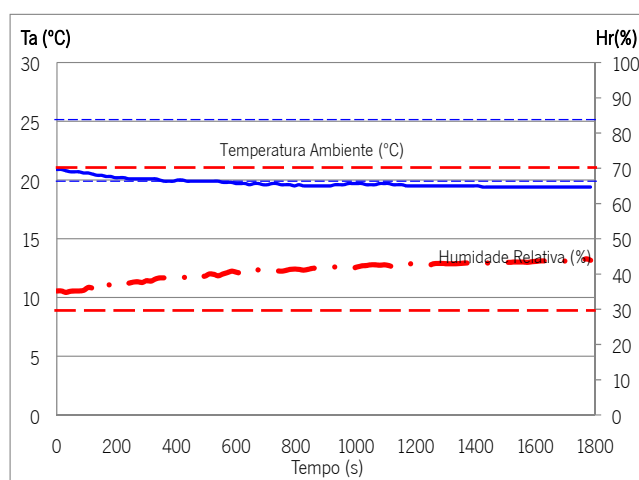


Figura IV.31 – Condições higrotérmicas na sala da Habitação 7.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Na Tabela IV.16 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na sala da Habitação 7.1 ao longo do período de medição.

Tabela IV.16 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala da Habitação 7.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	19,4	19,7	20,9
Temperatura do bolbo negro (°C)	19,3	20,1	22,4
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,040	0,330
Humidade relativa (%)	34,8	40,1	44,3
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		20,0	
PMV		- 0,4	
PPD (%)		8,3	

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas na Sala 7.1, apresentados na Figura IV.31 e na Tabela IV.16, é possível verificar que temperatura ambiente média, cerca de 19,7°C, era ligeiramente inferior à temperatura mínima de referência definida pelo RCCTE para o Inverno. A humidade relativa, cerca de 40%, encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%).

Na Figura IV.32 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Sala 7.1.

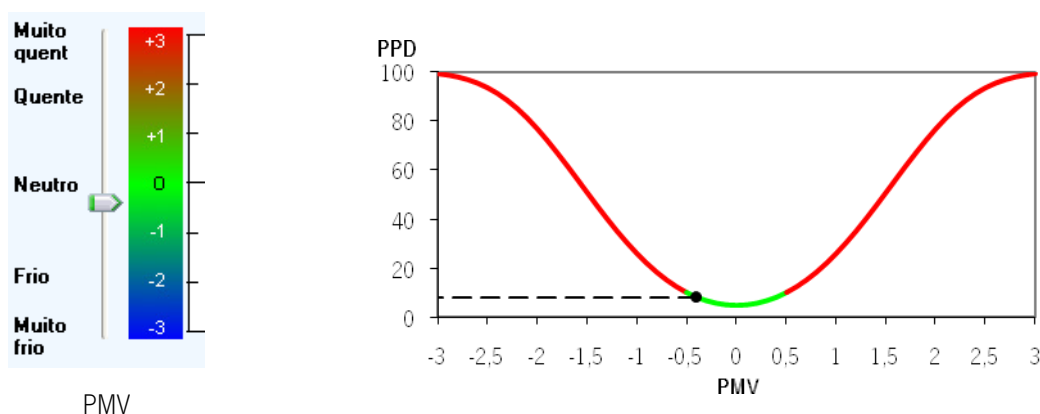


Figura IV.32 – Representação das condições de conforto térmico na sala da Habitação 7.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.32 que as condições térmicas medidas na Sala 7.1 proporcionavam um estado de conforto térmico situado próximo do ligeiramente frio.

### Cozinha 7.1

Na Figura IV.33 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos na Cozinha 7.1, ao longo do período de medição.

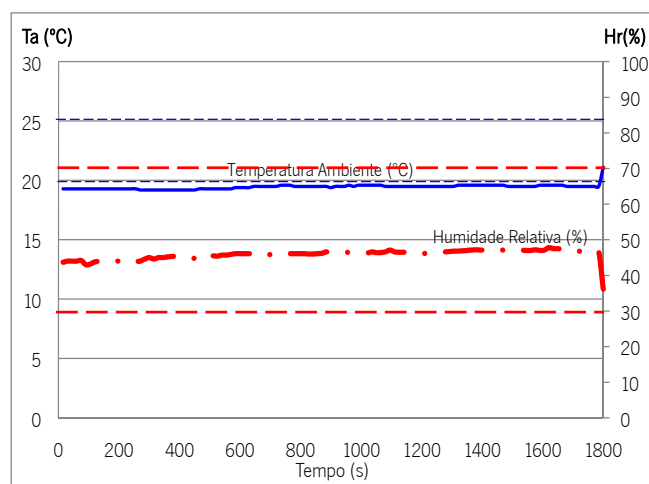


Figura IV.33 – Condições higrotérmicas na cozinha da Habitação 7.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na Cozinha 7.1 (Figura IV.33), é possível verificar que temperatura ambiente era da ordem dos 19,5°C, sendo ligeiramente inferior ao valor de referência definida pelo RCCTE. A humidade relativa medida é de aproximadamente de 50%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

Na Tabela IV.17 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos na Cozinha 7.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Tabela IV.17 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha da Habitação 7.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	19,2	19,5	19,6
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,8	19,4	19,7
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,021	0,290
Humidade relativa (%)	43,0	45,9	47,8
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		19,5	
PMV		- 0,5	
PPD (%)		10,2	

Na Figura IV.34 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para a Cozinha 7.1.



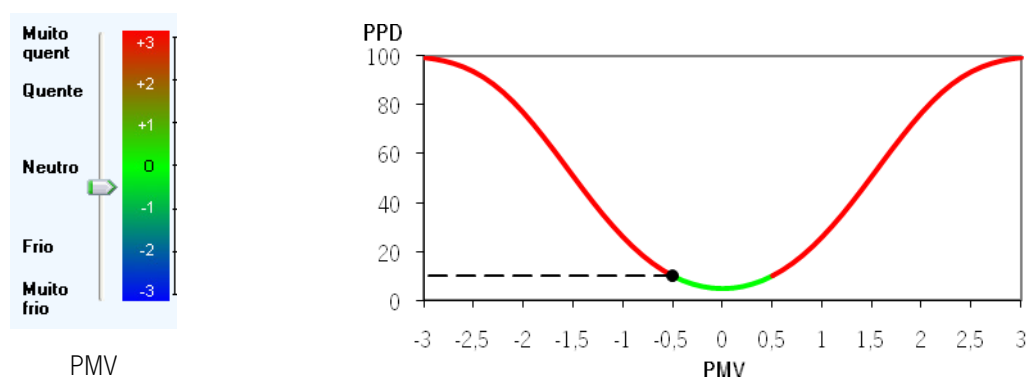


Figura IV.34 – Representação das condições de conforto térmico na cozinha da Habitação 7.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.34 que os ocupantes da Cozinha 7.1 estão num estado de conforto térmico correspondente a ligeiramente frio.

### Quarto 7.1

Na Figura IV.35 são apresentados os valores da temperatura ambiente (a traço contínuo) e da humidade relativa (a traço ponto) medidos no Quarto 7.1, durante o período de medição.

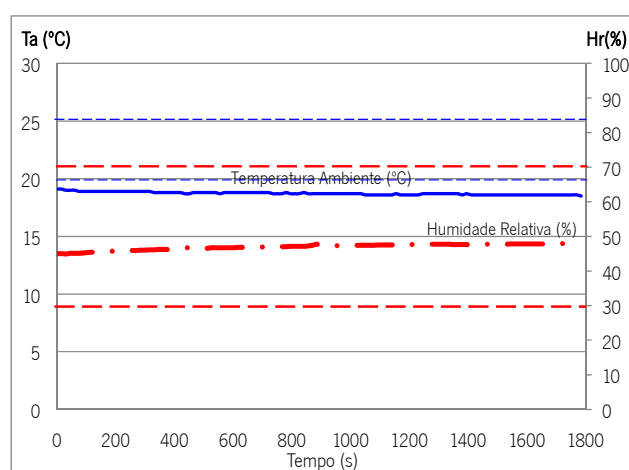


Figura IV.35 – Condições higrotérmicas no Quarto 7.1 (as linhas a tracejado representam os valores de referência)

Na Tabela IV.18 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos no Quarto 7.1 ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Os resultados referentes às condições higrotérmicas no Quarto 7.1, apresentados na Figura IV.35 e na Tabela IV.18, mostram a temperatura ambiente registada, sendo o valor mínimo de 18,5°C, se encontrava abaixo do valor recomendado para o inverno pelo RCCTE. A humidade relativa encontrava-se dentro da gama de valores recomendada (30% a 70%).

Tabela IV.18 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto da Habitação 7.1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,5	18,8	19,1
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,5	18,8	20,0
Velocidade do ar (m/s)	0,000	0,003	0,080
Humidade relativa (%)	44,9	47,0	47,9
Vestuário (clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
<b>Calculado:</b>			
Temperatura resultante (°C)		18,8	
PMV		- 0,6	
PPD (%)		12,3	

Na Figura IV.36 apresenta-se a representação gráfica dos índices PMV e PPD calculados para o Quarto 7.1.

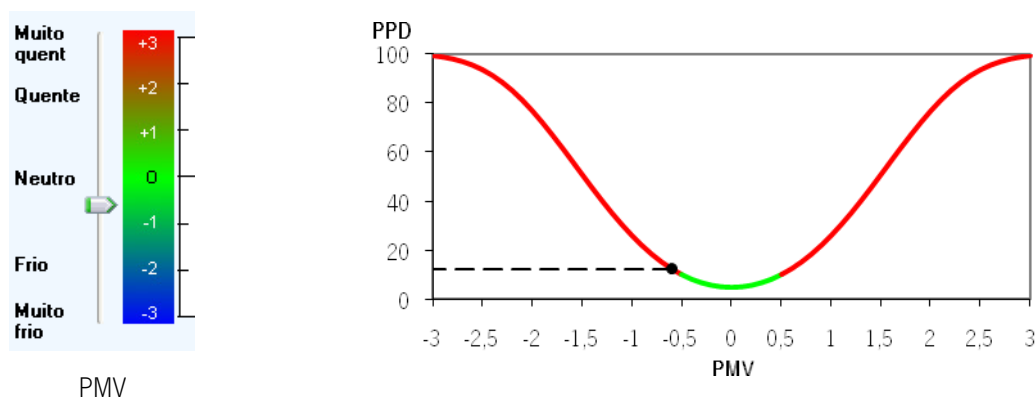


Figura IV.36 – Representação das condições de conforto térmico no quarto da Habitação 7.1

Verifica-se através da análise da Figura IV.36 que os ocupantes do Quarto 7.1 se encontravam num estado de conforto térmico próximo do ligeiramente frio.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação da qualidade do ar interior realizada.

## IV.2. Avaliação In situ da Qualidade do Ar Interior

A avaliação da Qualidade do Ar Interior, QAI, dos edifícios, é de extrema importância, dado o tempo que as pessoas passam no interior dos edifícios.

A avaliação da QAI de um edifício pode ser realizada através de medições in situ de um conjunto de parâmetros, associados a poluentes químicos ( $\text{CO}_2$ , CO, COV, formaldeído, partículas respiráveis, ozono e radão) e microbiológicos (bactérias, fungos e legionela).

### IV.2.1. Critérios de Desempenho

Na regulamentação nacional não está prevista a realização de avaliação da QAI em edifícios de habitação, apenas em edifícios de serviços.

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).

Esta nota técnica é direccionada para edifícios de serviços e não para edifícios residenciais, no entanto, foi seguida neste trabalho, dada a inexistência de regulamentação no âmbito dos edifícios residenciais.

### **Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios**

A regulamentação nacional define as concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios de serviços, sendo estes os valores adoptados também para os edifícios residenciais (NT-SCE-02, 2009).

### **Metodologia**

Para a avaliação da Qualidade do Ar Interior, de modo a ser possível recolher dados que sejam representativos da ocupação normal das habitações foram efectuadas medições nos três compartimentos das habitações onde o período de ocupação é maior.

Assim, para avaliar a QAI de edifícios residenciais foram estudadas 6 habitações (Habitações 2.1, 3, 4, 5.1, 6.1 e 7.1), dois apartamentos de tipologia T1 (Habitação 2.1 e Habitação 7.1), dois apartamentos de tipologia T3 (Habitação 5.1 e Habitação 6.1) e duas moradias unifamiliares, uma geminada (Habitação 4) e outra isolada (Habitação 3).

Assim, foram estudados, para cada uma das seis habitações, um quarto, a sala e a cozinha. Em cada um desses compartimentos foram efectuadas três medições de 5 minutos, em três pontos distintos, respeitando a condição imposta acerca do número mínimo de pontos de medição, assim como restantes recomendações da Nota Técnica NT-SCE-02.

Para a caracterização das condições exteriores foi consultado a informação da Agência Portuguesa do ambiente (em [www.qualar.org](http://www.qualar.org)).

Os ensaios foram efectuados de porta fechada e foram, sempre que possível, realizados no quarto durante a manhã, na sala durante o período de ocupação e na cozinha depois das refeições.

Na campanha de ensaios realizada não foram medidas as concentrações dos agentes microbiológicos, apenas dos físico-químicos.

Os poluentes avaliados foram os seguintes: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Compostos Orgânicos Voláteis totais (COV<sub>total</sub>), formaldeído (CHOH), ozono (O<sub>3</sub>), partículas suspensas no ar com diâmetro inferior a 10 µm (PM10) e Radão (Rn).

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.

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.

Os valores das medições são ainda comparados com os valores regulamentares indicados no decreto-lei 79/2006, RSECE. Embora o campo de aplicação deste regulamento sejam os edifícios de serviços e o âmbito deste trabalho seja o estudo de edifícios habitacionais, utilizar-se-ão os seus valores como limites regulamentares, até porque, não existem regulamentação a este nível para os edifícios de habitação.

São também indicadas estratégias de mitigação para os problemas identificados.

As concentrações dos poluentes CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> e HCHO, medidos em ppm são convertidos em mg/m<sup>3</sup>, e normalizados para os valores de referência de pressão e temperatura (293K, 101,3 kPa).

Na Tabela IV.19 apresentam-se os factores de conversão de gases em fracções molares em partes por milhão (ppm) para concentrações (mg/m<sup>3</sup>) normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa (NT-SCE-02, versão draft, 2009).

Tabela IV.19 – Factores de conversão de gases em fracções molares em partes por milhão (ppm) para concentrações (mg/m<sup>3</sup>) normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa (NT-SCE-02, versão draft, 2009)

Parâmetro	Factores de conversão
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1 ppm = 1,83 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,54 ppm
Ozono (O <sub>3</sub> )	1 ppm = 2 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,5 ppm
Formaldeído (H <sub>2</sub> CO)	1 ppm = 1,25 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,8 ppm
Monóxido de carbono (CO)	1 ppm = 1,164 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,86 ppm

Assim, a concentração normalizada C<sub>normalizada</sub> será dado pela Equação (IV.3) (NT-SCE-02, versão draft, 2009):

$$C_{\text{normalizada}} = C_{\text{medida}} \times \frac{P_{\text{medida}}}{P_{\text{normalizada}}} \times \frac{T_{\text{normalizada}}}{T_{\text{medida}}} \quad \text{Equação (IV.1)}$$

Em que:

- C<sub>normalizada</sub> – concentração normalizada do poluente (mg/m<sup>3</sup>);
- C<sub>medida</sub> – concentração normalizada do poluente medida (mg/m<sup>3</sup>);
- T<sub>normalizada</sub> – temperatura normalizada (293 K)
- T<sub>medida</sub> – temperatura medida (K);
- P<sub>medida</sub> – pressão atmosférica medida (kPa);
- P<sub>normalizada</sub> – pressão normalizada (101,3 kPa);

Então a Equação (IV.3) pode ser transformada na Equação (IV.2) (NT-SCE-02, versão draft, 2009):

$$C_{\text{normalizada}} = C_{\text{medida}} \times \frac{P_{\text{medida}}}{101.3} \times \frac{293}{T_{\text{medida}}} \quad \text{Equação (IV.2)}$$

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação da Qualidade do Ar Interior de edifícios realizada.

**Edifício 2 - Habitação 2.1**

Os resultados da avaliação de QAI realizada na Habitação 2.1 são apresentados de seguida, para cada um dos poluentes medidos.

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal desta habitação é de 1,10 h<sup>-1</sup>.

Na Tabela IV.20 apresentam-se as concentrações máximas de poluentes no exterior, obtidas através Agência Portuguesa do Ambiente ([www.qualar.org](http://www.qualar.org)).

Tabela IV.20 – Concentração máxima de poluentes no exterior ([www.qualar.org](http://www.qualar.org))

Parâmetros	Concentração máxima (mg/m <sup>3</sup> )
CO <sub>2</sub>	-
CO	0,751
PM <sub>10</sub>	0,032

De seguida apresentam-se os resultados das medições de QAI na Habitação 2.1.

**Monóxido de Carbono (CO)**

Na Figura IV.37 apresentam-se os gráficos representativos das concentrações de monóxido de carbono na cozinha da Habitação 2.1 para as 3 medições realizadas.

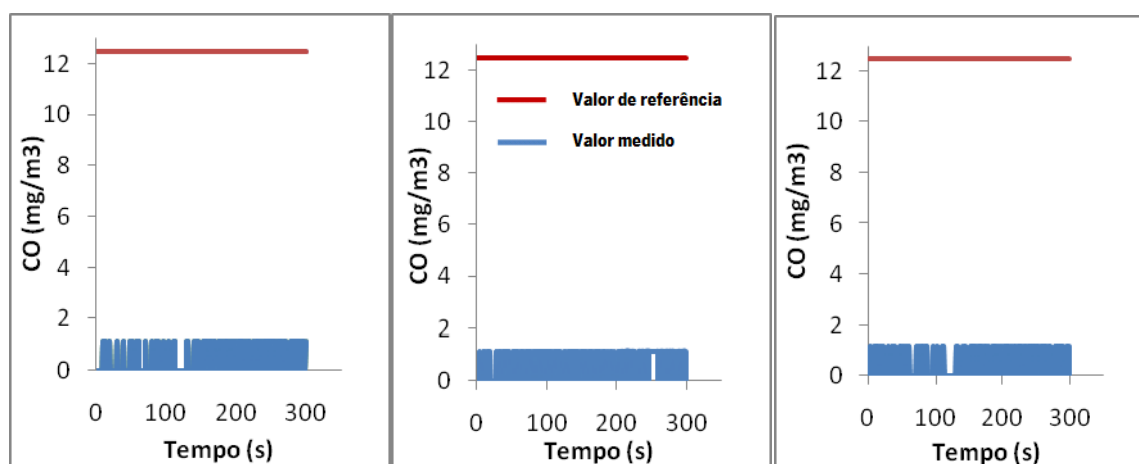


Figura IV.37 – Concentrações de CO na Cozinha 2.1

Neste local existem dois aparelhos que funcionam através de processos de combustão, o fogão e o esquentador. Estes dois equipamentos associados a uma baixa ventilação do espaço poderão ser a fonte que origina esta concentração de CO. Um factor que também poderá influenciar a concentração de monóxido de carbono nesta habitação é a proximidade desta a uma estrada com elevada circulação de veículos

Na Figura IV.38, mostram-se as concentrações obtidas nas 3 medições realizadas no Quarto 2.1.

Embora em menor quantidade, também no quarto os valores de monóxido de carbono variam entre 0 e 1,164 mg/m<sup>3</sup>.

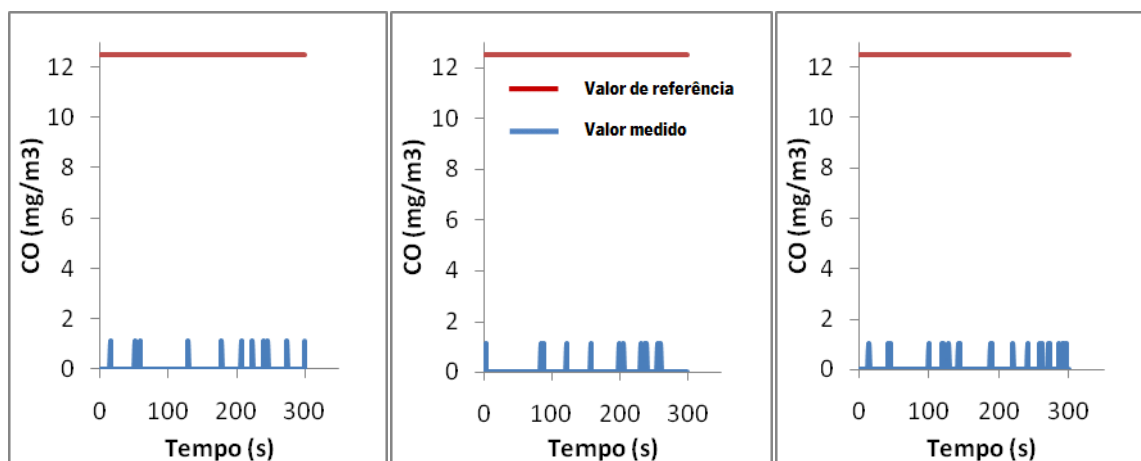


Figura IV.38 – Concentrações de CO no quarto da Habitação 2.1

Os resultados das medições efectuadas na sala são as concentrações que se apresentam na Figura IV.39.

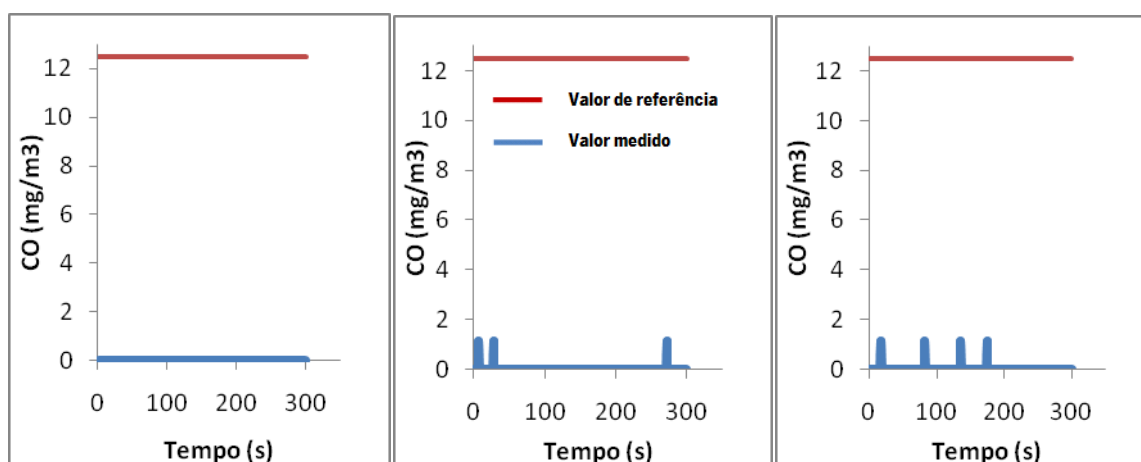


Figura IV.39 – Concentrações de CO na sala da Habitação 2.1

As origens destas concentrações poderão ser as mesmas que as dos outros compartimentos e ainda a proximidade a que a habitação, e este compartimento em particular, se encontram do arruamento. A sala é o compartimento que apresenta menor concentrações de monóxido de carbono e é o compartimento que é mais frequentemente ventilado.

### Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

As concentrações de dióxido de carbono obtidas para a cozinha podem ser observadas na Figura IV.40.

A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é de aproximadamente 673 mg/m<sup>3</sup>, no entanto, dentro dos edifícios, devido à ocupação humana, este valor é quase sempre excedido.

Da análise da Figura IV.40, verifica-se que a concentração de dióxido de carbono na cozinha é superior ao valor de referência. Além da contribuição dos ocupantes existem também os processos de combustão que ocorrem no seu interior e à baixa ventilação do espaço.

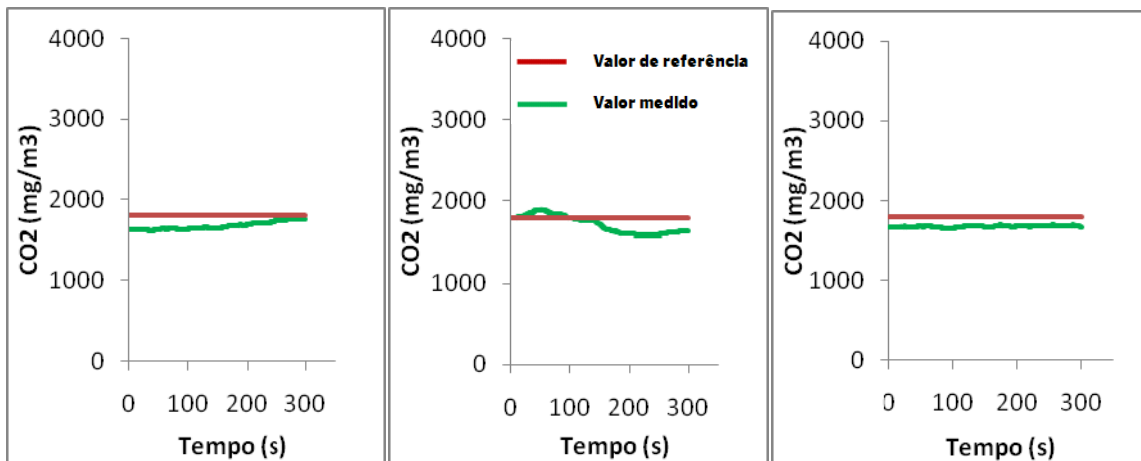


Figura IV.40 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na cozinha da Habitação 2.1

No quarto foram obtidas as concentrações representadas na Figura IV.41.

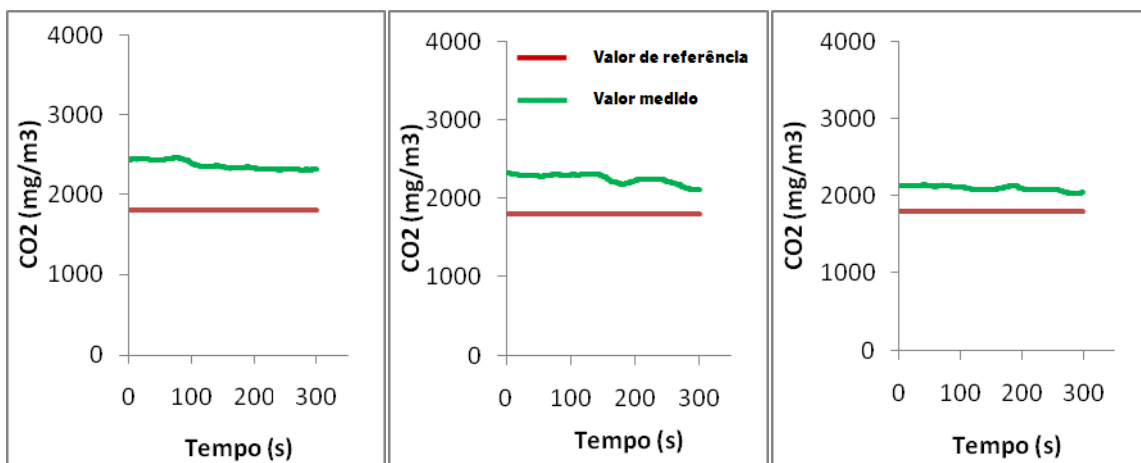


Figura IV.41 – Concentrações de CO<sub>2</sub> no Quarto 2.1

O quarto é o local da casa onde as concentrações de CO<sub>2</sub> são mais elevadas. Uma das principais causas destes valores é o facto de as medições terem sido efectuados pouco depois de as duas pessoas que dormem neste compartimento terem acordado.

Efectuadas as medições de dióxido de carbono na sala, foram tratados os dados, através dos quais se obtiveram os gráficos que se apresentam na Figura IV.42.

Também no caso da Sala 2.1 as concentrações de CO<sub>2</sub> ultrapassam em duas das medições o valor limite fixado pelo RSECE para edifícios de serviços. Tal com nos restantes compartimentos a principal fonte deste poluente são os ocupantes, outra fonte poderá estar no exterior, a circulação automóvel.

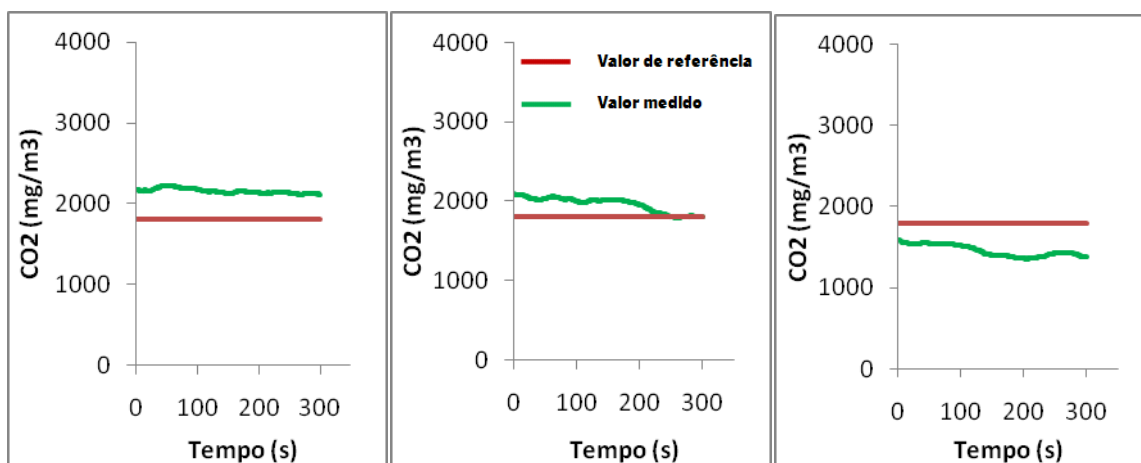


Figura IV.42 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Sala 2.1

### Compostos Orgânicos Voláteis totais (COV<sub>Totais</sub>)

Das medições da concentração dos compostos orgânicos voláteis totais na cozinha da Habitação 2.1 obtiveram-se os resultados que se representam na Figura IV.43.

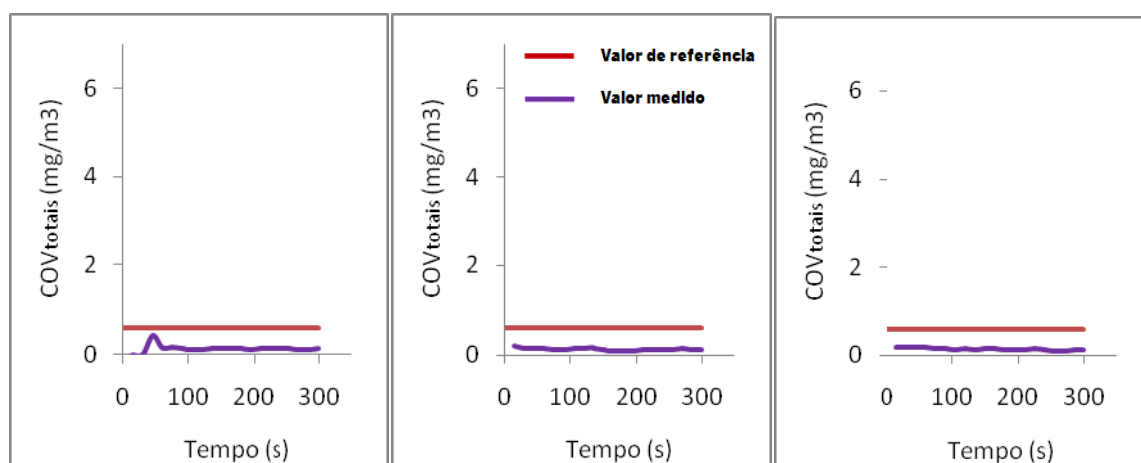


Figura IV.43 – Concentrações de COV<sub>totais</sub> na cozinha 2.1

Para justificar a presença de COV<sub>totais</sub>, importa referir um aspecto, que é a tendência de os moradores das habitações limparem a casa no dia anterior à realização das medições. Talvez seja esse o motivo para a presença de compostos orgânicos voláteis no compartimento. Para além disso, imediatamente ao lado da cozinha encontra-se a lavandaria onde são utilizados muitos detergentes o que também poderá contribuir para a presença destes poluentes.

As concentrações de compostos orgânicos voláteis medidas no quarto da Habitação 2.1 são as apresentadas na Figura IV.44.



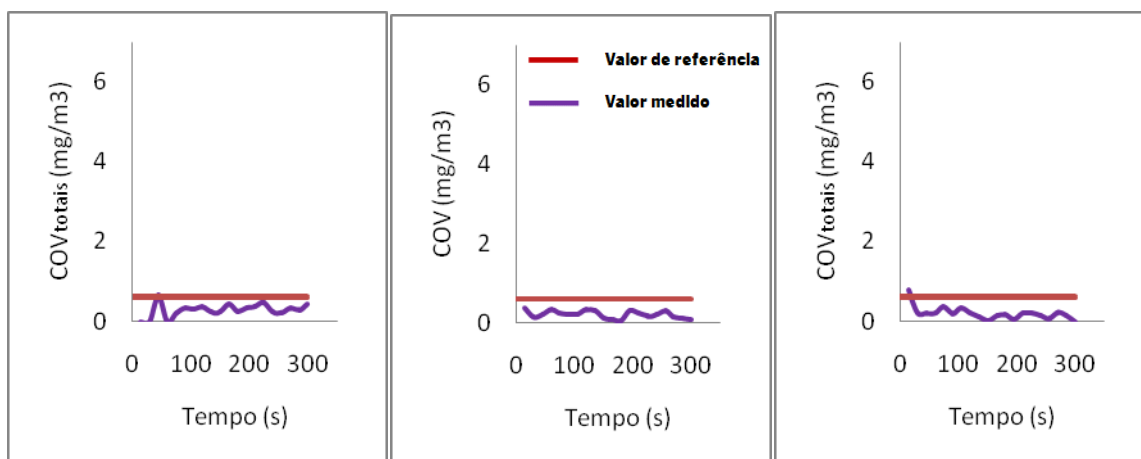


Figura IV.44 – Concentrações de  $COV_{totalis}$  no Quarto 2.1

Na Habitação 2.1, o quarto é o compartimento com concentrações de compostos orgânicos voláteis mais elevados. Um dos motivos para tal poderá estar relacionado com o facto, de terem sido realizada a limpeza da habitação, tendo sido utilizados detergentes em toda a habitação, no dia anterior à realização das medições. Além este aspecto há ainda um aspecto a ter em consideração, que é a utilização, neste espaço de produtos de higiene pessoal por parte de um dos ocupantes, o que poderá também influenciar a presença de  $COV_{totalis}$  no ar.

Para a Sala 2.1, as concentrações de  $COV_{totalis}$  medidas são as apresentadas na Figura IV.45.

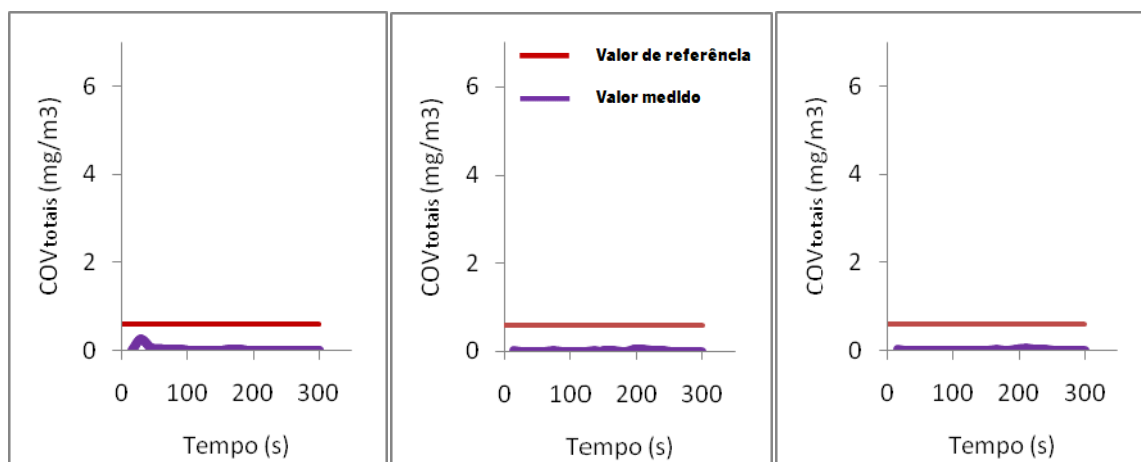


Figura IV.45 – Concentrações de  $COV_{totalis}$  na Sala 2.1

A concentração de  $COV_{totalis}$  na sala é bastante inferior à verificada nos restantes compartimentos. A presença destes poluentes poderá ser igualmente ser devida à utilização de detergentes.

### Formaldeído (CHOH)

Na Figura IV.46, apresentam-se os resultados das medições de formaldeído efectuadas na cozinha 2.1.

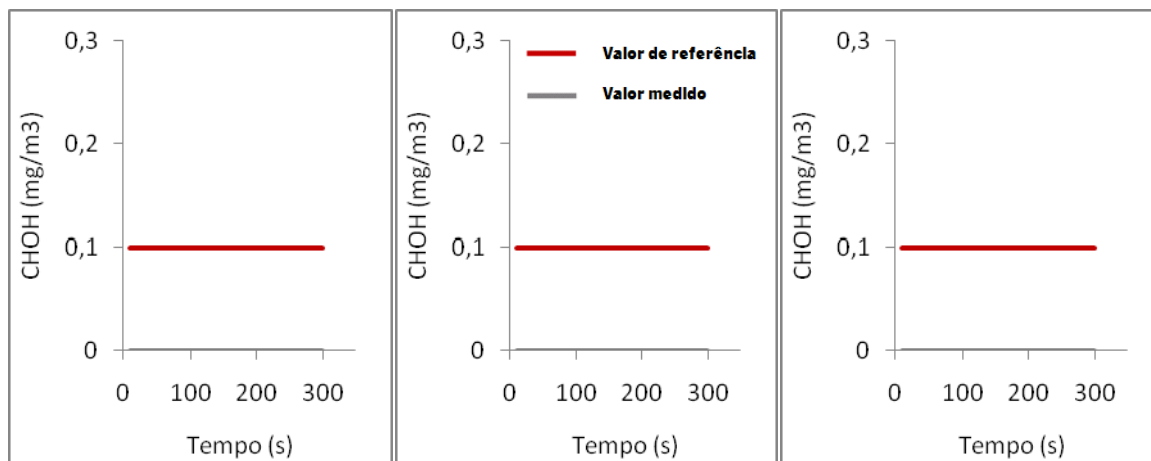


Figura IV.46 – Concentrações de CHOH na cozinha 2.1

Na Cozinha 2.1 não se detectou a presença de formaldeído.

No caso do Quarto 2.1, detectaram-se concentrações elevadas de formaldeído, tal como se pode verificar na Figura IV.46.

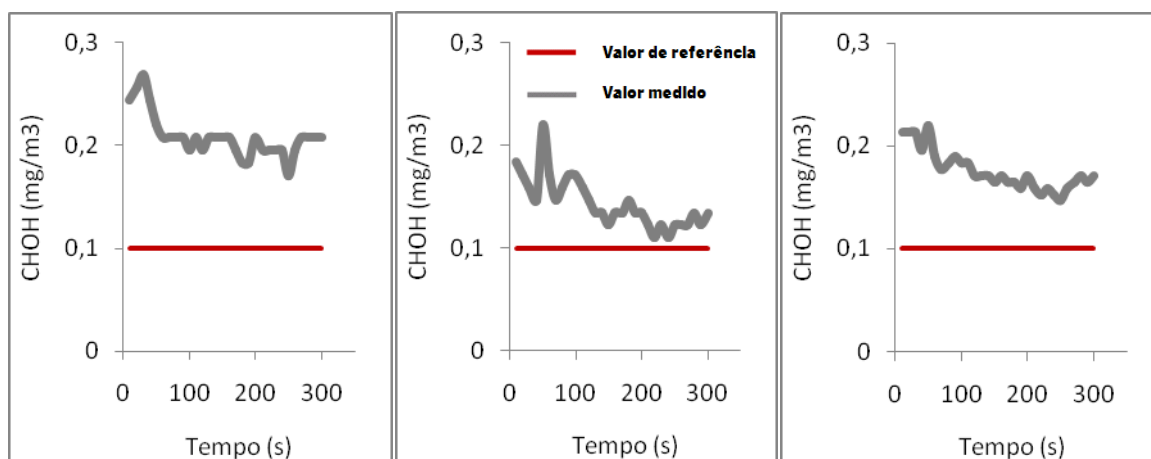


Figura IV.47 – Concentrações de CHOH no Quarto 2.1

A origem do formaldeído verificado no quarto, poderá ser a quantidade de têxteis existentes, como tapetes, roupa, etc., ou o facto de este ser um espaço onde são normalmente utilizados produtos de higiene pessoal e cosmética. Um outro factor que estará, possivelmente, na origem destas concentrações prende-se com o facto de este espaço ter muitos móveis constituídos por produtos derivados da madeira.

Na Figura IV.48 podemos observar os gráficos obtidos para as medições ao longo do tempo em três pontos distintos, na sala.

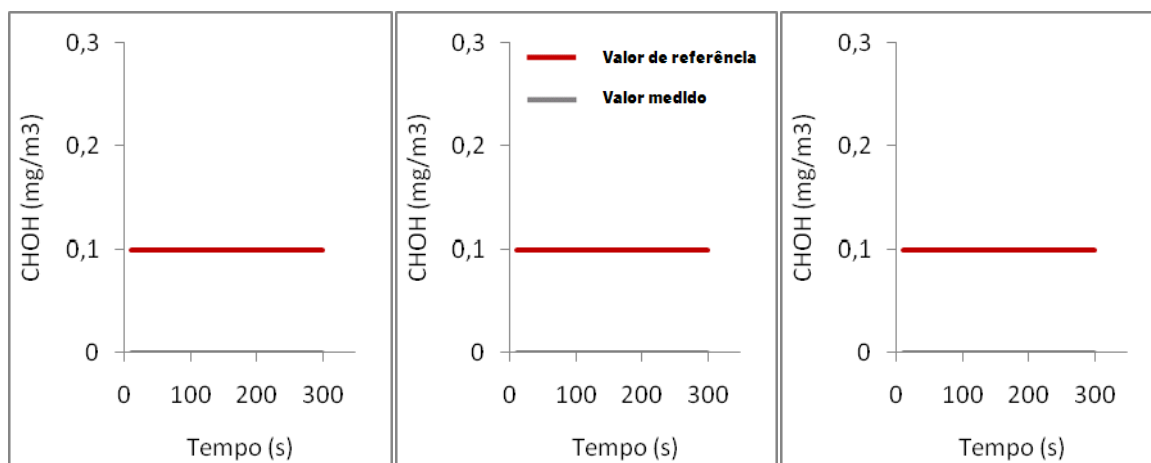


Figura IV.48 – Concentrações de CHOH na Sala 2.1

Pode assim verificar-se que não foi observada a presença de formaldeído neste compartimento.

### Ozono ( $O_3$ )

Na Figura IV.49 podem-se analisar os valores de ozono detectados na cozinha da habitação 2.1, para os três pontos estudados.

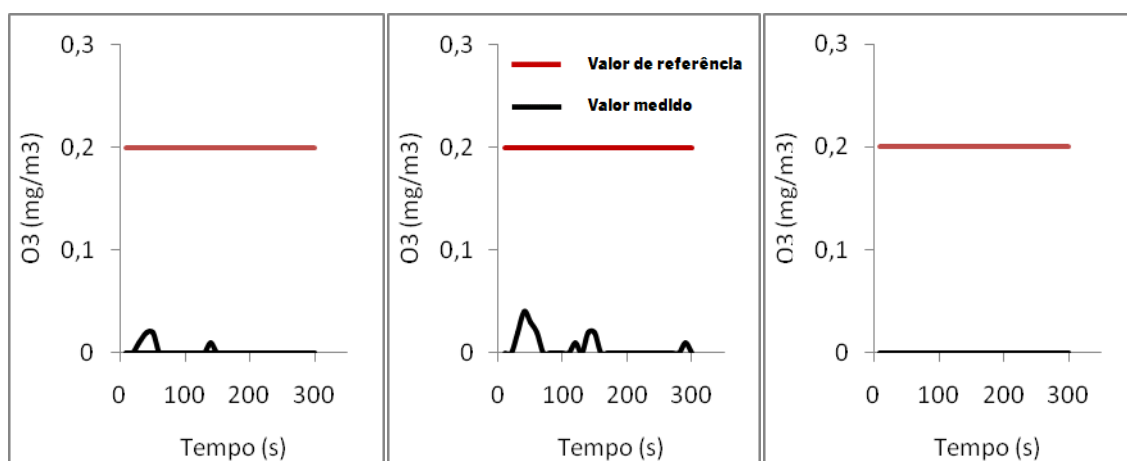


Figura IV.49 – Concentrações de  $O_3$  na Cozinha 2.1

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.). Todos estes equipamentos, associados às reduzidas dimensões do espaço e à sua baixa ventilação poderão originar as concentrações medidas.

Pode observar-se na Figura IV.50 os três gráficos correspondentes às três medições efectuadas no quarto da habitação 1.

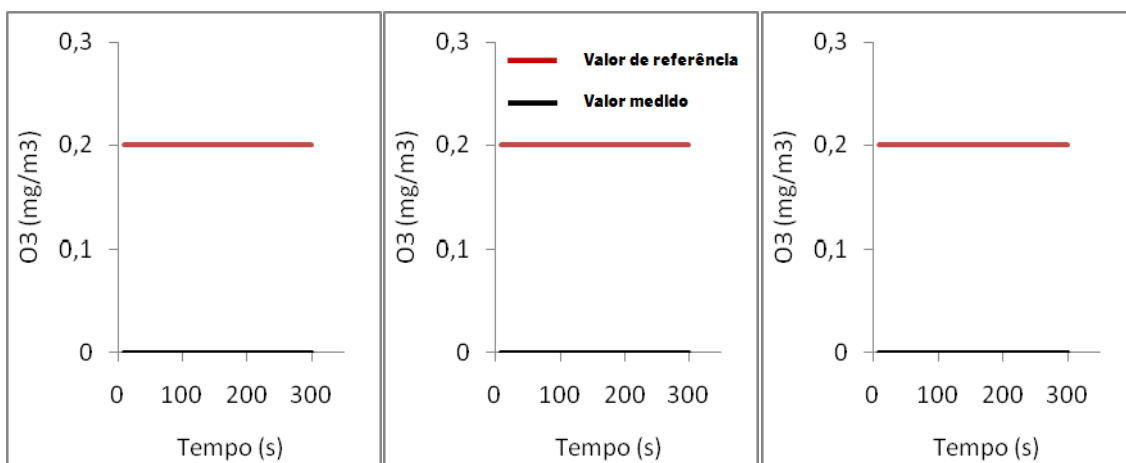


Figura IV.50 - Concentrações de O<sub>3</sub> no Quarto 2.1

Não se verificou, neste compartimento, a presença de ozono, como se pode verificar na Figura IV.50.

Para a sala da mesma habitação, por sua vez, os gráficos resultantes das medições de ozono efectuadas são apresentados na Figura IV.51.

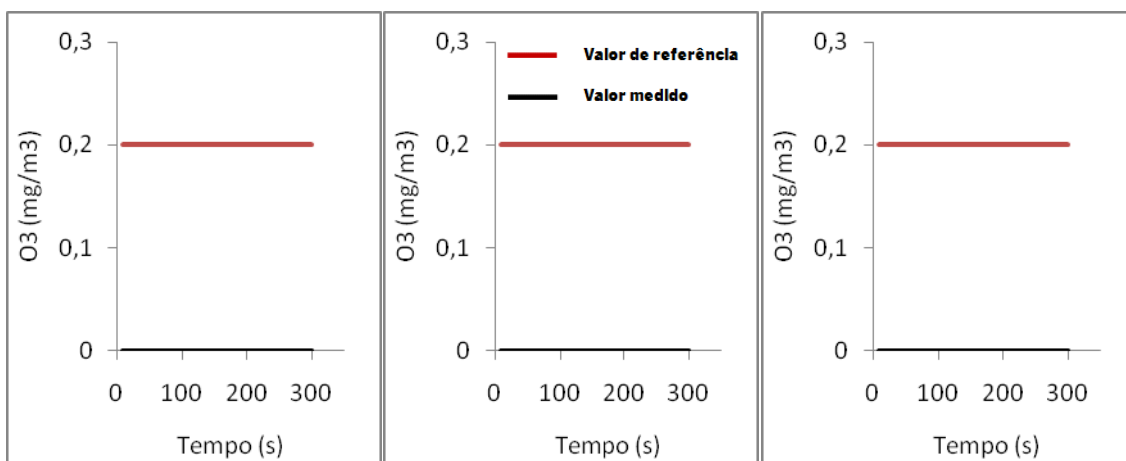


Figura IV.51 - Concentrações de O<sub>3</sub> na Sala 2.1

De igual forma ao que ocorreu no quarto, também na sala não foi detectada a presença de ozono.

### Partículas suspensas no ar (PM<sub>10</sub>)

Na Figura IV.52 apresentam-se as concentrações de partículas suspensas no ar medidas na cozinha.

Embora a concentração destas não seja muito alta, verificou-se que existiam partículas suspensas no ar na cozinha. A presença deste poluente neste local será provavelmente resultado dos processos de combustão que aqui ocorrem quer por utilização do fogão, quer por utilização do esquentador a gás.

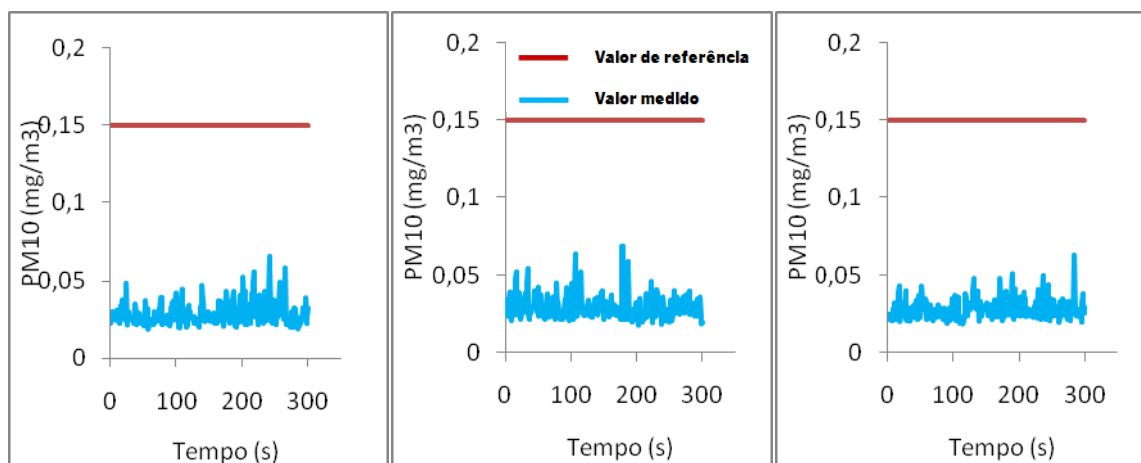


Figura IV.52 - Concentrações de  $PM_{10}$  na Cozinha 2.1

Também no quarto se detectou a presença de partículas, como se pode observar na Figura IV.53.

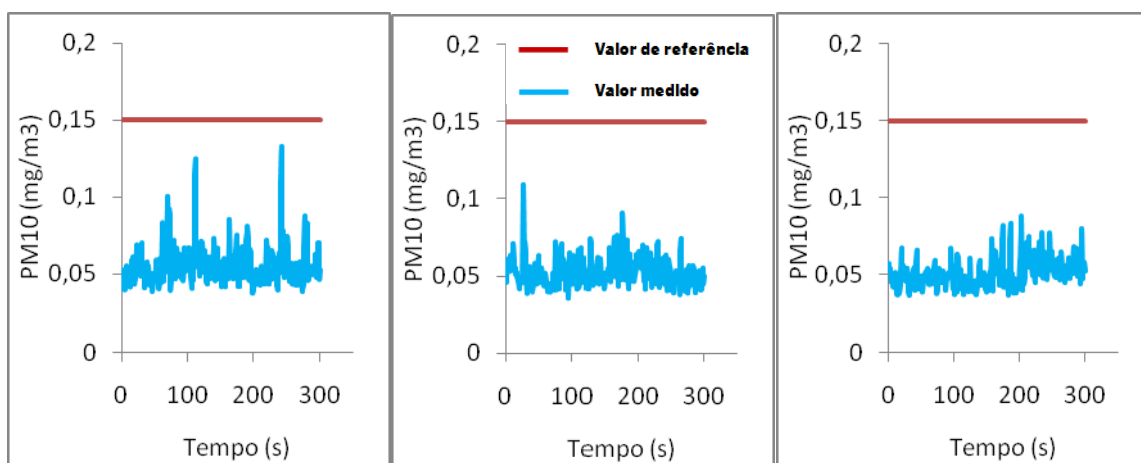


Figura IV.53 - Concentrações de  $PM_{10}$  no Quarto 2.1

Neste compartimento verifica-se uma maior concentração de partículas suspensas no ar, comparativamente aos outros dois compartimentos estudados. Esta ocorrência será possivelmente justificada pela quantidade de têxteis característicos do espaço. Como foi referido aquando da descrição da habitação, neste espaço existem tapetes, roupa, edredões, etc.. A existência desta quantidade de têxteis poderá levar a que se verifique a concentração de  $PM_{10}$  medida.

As concentrações de partículas suspensas no ar encontradas na sala podem ser, por sua vez, verificadas na Figura IV.54.

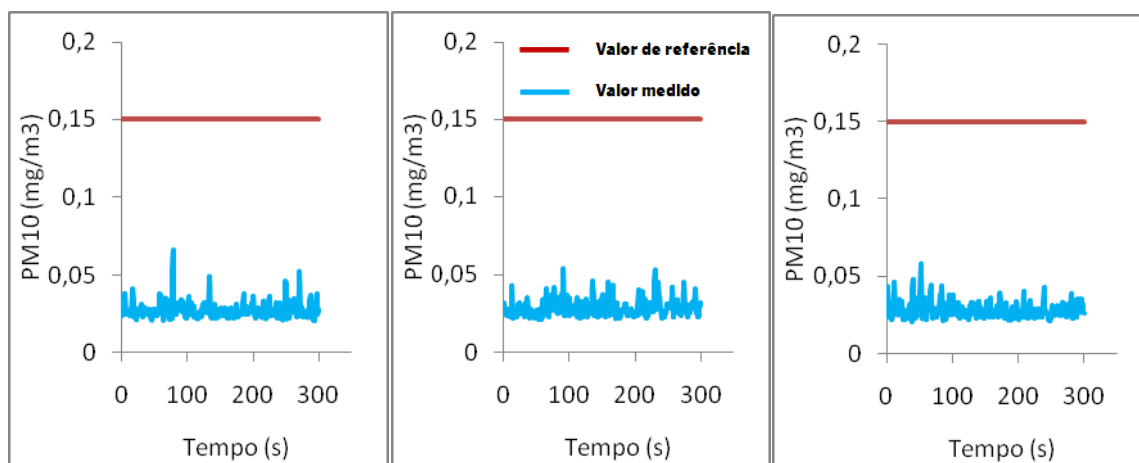


Figura IV.54 – Concentrações de  $PM_{10}$  na Sala 2.1

Também na sala, foi detectada a presença de partículas suspensas no ar, tal como se pode ver pela Figura IV.54. De igual forma ao que acontece no quarto, na sala a origem das partículas suspensas no ar poderá ser a presença de têxteis, uma vez que neste compartimento se encontravam tapetes e que os sofás eram de tecido. Para além disso, a proximidade ao arruamento, já anteriormente referida, poderá influenciar também a presença deste tipo de poluente na sala.

#### Humidade Relativa /Temperatura

No que diz respeito à temperatura e à humidade relativa, tendo por bases os valores de referência indicados no Decreto-Lei 80/2006, RCCTE, que indicam como condições de conforto 20°C a 25°C de temperatura (para a estação de aquecimento e arrefecimento, respectivamente) e 50% de humidade relativa, uma vez que em média a temperatura era de 20°C nos três locais estudados e a humidade relativa de 50% para a cozinha, 53% para a sala e 55% para o quarto.

#### Verificação Regulamentar

No que respeita à verificação regulamentar, existem três poluentes cujas concentrações medidas ultrapassam, 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<sup>3</sup> em todos os compartimentos. Os compostos orgânicos voláteis por sua vez ultrapassam o valor limite de 0,6 mg/m<sup>3</sup> 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 h<sup>-1</sup>.

Na Tabela IV.21 apresentam-se as concentrações máximas de poluentes no exterior, obtidas através Agência Portuguesa do Ambiente ([www.qualar.org](http://www.qualar.org)).

Tabela IV.21 – Concentração máxima de poluentes no exterior ([www.qualar.org](http://www.qualar.org))

Parâmetros	Concentração máxima (mg/m³)
CO <sub>2</sub>	-
CO	0,726
PM <sub>10</sub>	0,022

De seguida apresentam-se as concentrações dos poluentes físico-químicos medidos na Habitação 3.

### Monóxido de Carbono

Para a Habitação 3, no caso do monóxido de carbono foram obtidas para a cozinha as concentrações apresentadas na Figura IV.55.

De forma análoga ao que ocorre com a Habitação 2.1, também na segunda habitação em estudo os valores de monóxido de carbono oscilam entre zero e 1,164 mg/m³. As razões para existir monóxido de carbono neste compartimento podem estar relacionadas com a existência de um fogão e um esquentador e com o facto de haver um fumador entre os habitantes. Este habitante fuma em dois locais, o quarto e a cave. A cave localiza-se relativamente perto da cozinha, daí que os poluentes libertados pelo fumo de tabaco possam influenciar as concentrações de CO.

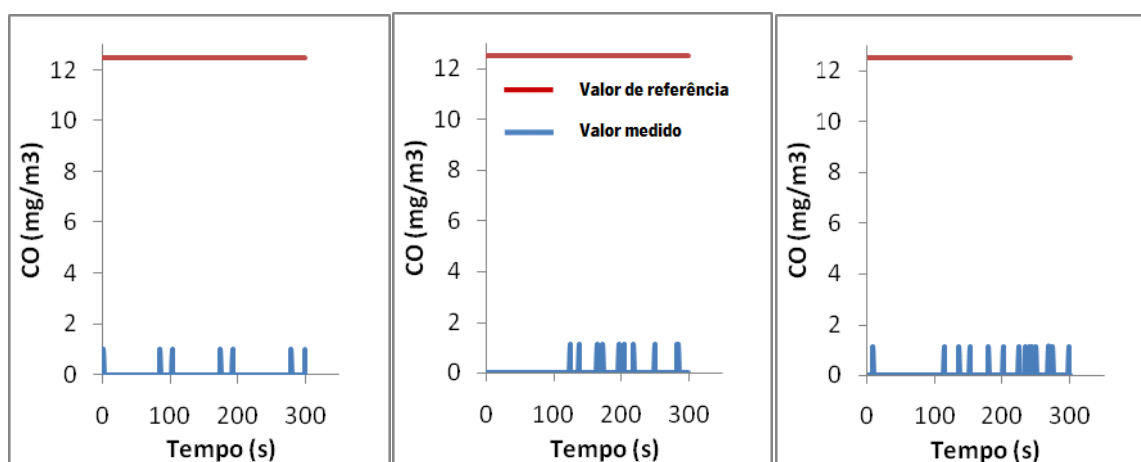


Figura IV.55 – Concentrações de CO para as 3 medições efectuadas na Cozinha 3

Para o quarto da Habitação 3 detectaram-se as concentrações de monóxido de carbono que se apresentam na Figura IV.56.

O quarto é, dos três locais em estudo, aquele que possui maiores quantidades de monóxido de carbono. Esta concentração poderá estar relacionada com o facto de o fumador fumar neste compartimento durante a noite.

Na Figura IV.57 podem observar-se os gráficos representativos das três medições efectuadas na sala ao longo do tempo. Não foi detectada a presença de monóxido de carbono na sala da Habitação 3.

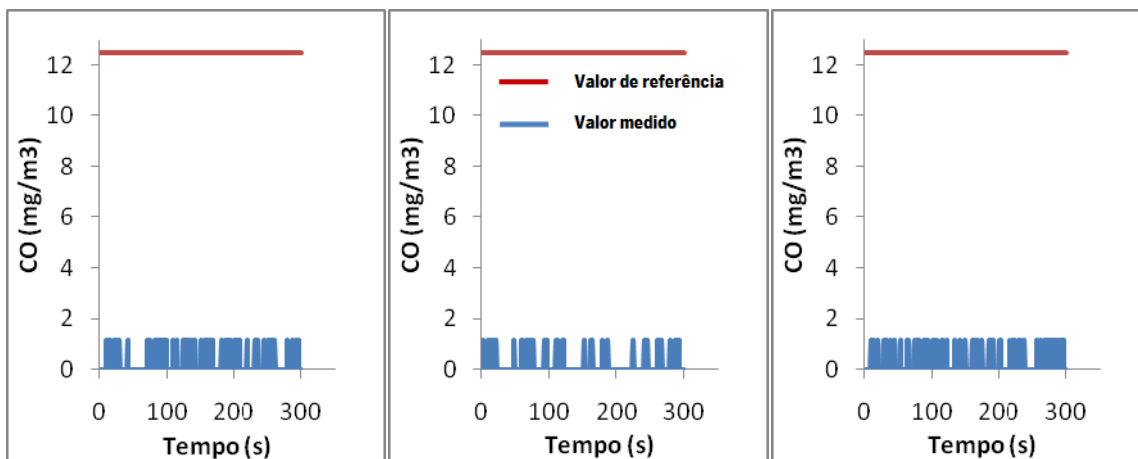


Figura IV.56 – Concentrações de CO no Quarto 3

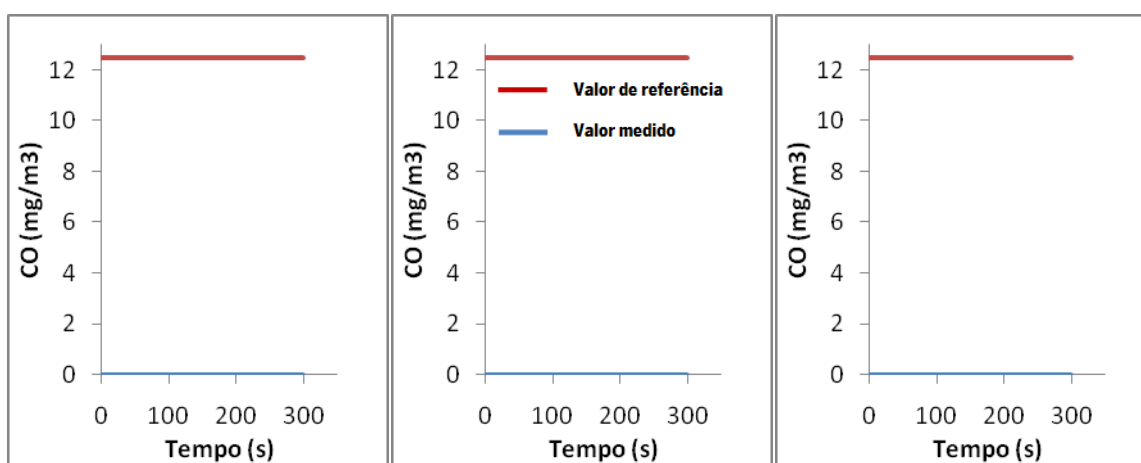


Figura IV.57 – Concentrações de CO na Sala 3

### Dióxido de Carbono

As concentrações de dióxido de carbono medidas na cozinha da Habitação 3 são apresentadas na Figura IV.58.

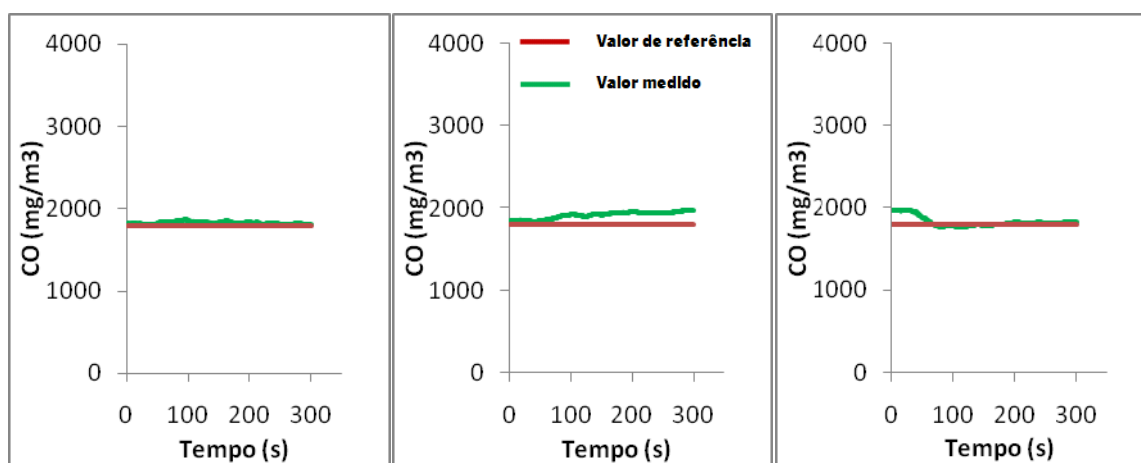


Figura IV.58 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Cozinha 3



Como se pode verificar na Figura IV.58 as concentrações de  $\text{CO}_2$  na Cozinha 3 são elevadas. O número de pessoas que ocupam normalmente a habitação (sete) associada a uma má ventilação pode ser uma das razões para as elevadas concentrações medidas. Outras das possíveis razões serão o fumo de tabaco e os processos de combustão do fogão e do esquentador.

Os resultados das medições efectuadas no Quarto 3 são apresentados na Figura IV.59.

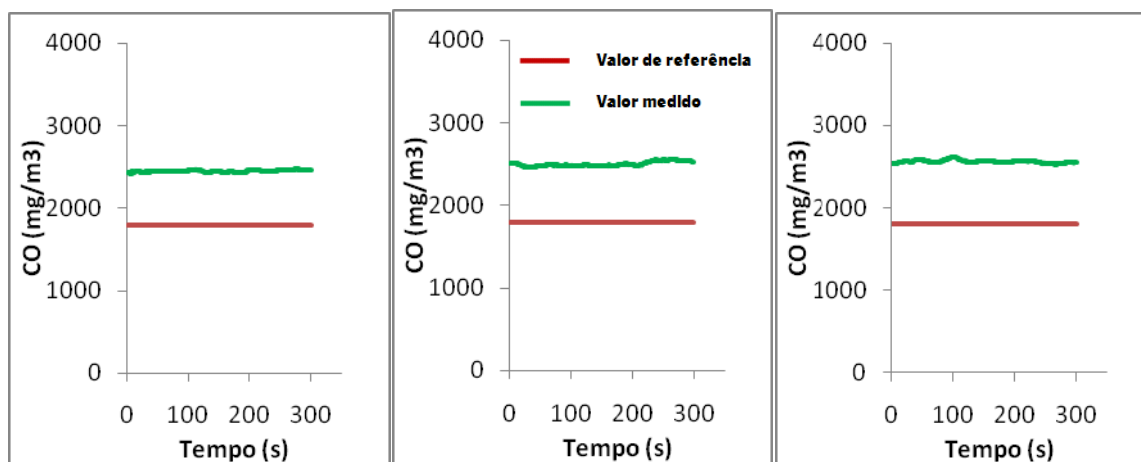


Figura IV.59 – Concentrações de  $\text{CO}_2$  no Quarto 3

O quarto é utilizado por duas pessoas, fumando uma delas neste local, sendo essa muito provavelmente a causa das elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  medidas.

As concentrações de  $\text{CO}_2$  medidas na Sala 3 são apresentadas na Figura IV.60.

No caso da Sala 3 as concentrações de  $\text{CO}_2$  são também muito elevadas. Um dos motivos para tal é talvez, como já se referiu o número de ocupantes, os gases de combustão da lareira existente, associado a uma baixa ventilação.

Tal como no quarto as janelas da sala só muito ocasionalmente são abertas, sendo por isso os compartimentos pouco ventilados, sendo estes os compartimentos que apresentam ao nível de dióxido de carbono as piores condições de qualidade do ar.

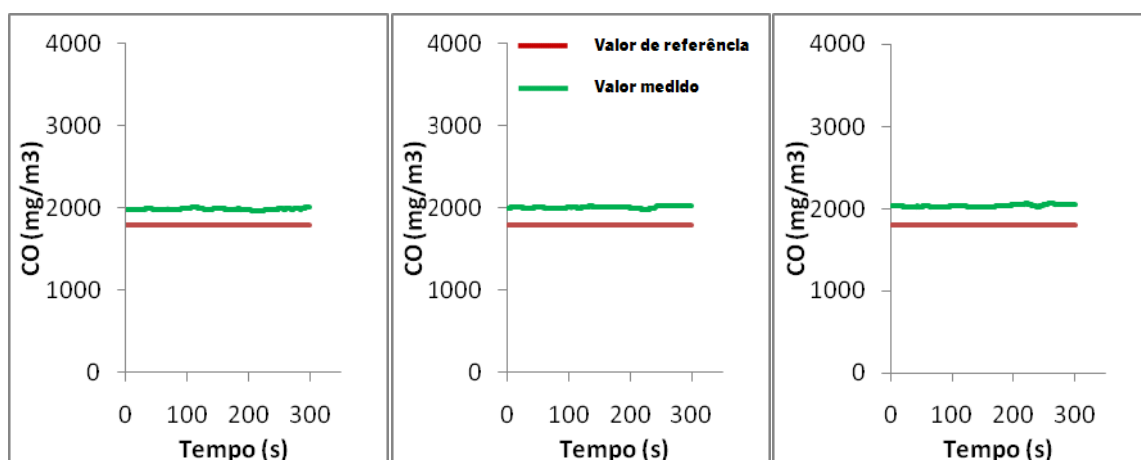


Figura IV.60 – Concentrações de  $\text{CO}_2$  medidas na Sala 3

### Compostos Orgânicos Voláteis totais ( $COV_{\text{Totais}}$ )

A concentração de COV na cozinha desta habitação é bastante elevada como se pode observar na Figura IV.61.

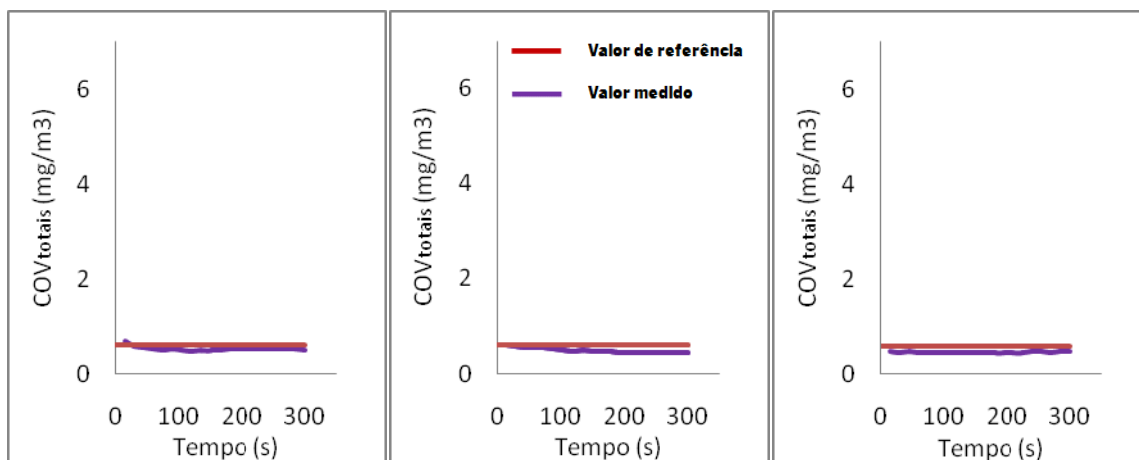


Figura IV.61 – Concentrações de  $COV_{\text{Totais}}$  medidas na Cozinha 3

Estes valores poderão ter origem em produtos de limpeza utilizados no espaço em estudo. No entanto, verifica-se na Figura IV.62 que as concentrações de  $COV_{\text{Totais}}$  são ainda superiores no quarto, que podem ter origem em produtos de limpeza e também nos produtos de cosmética/ higiene pessoal utilizados no espaço em estudo.

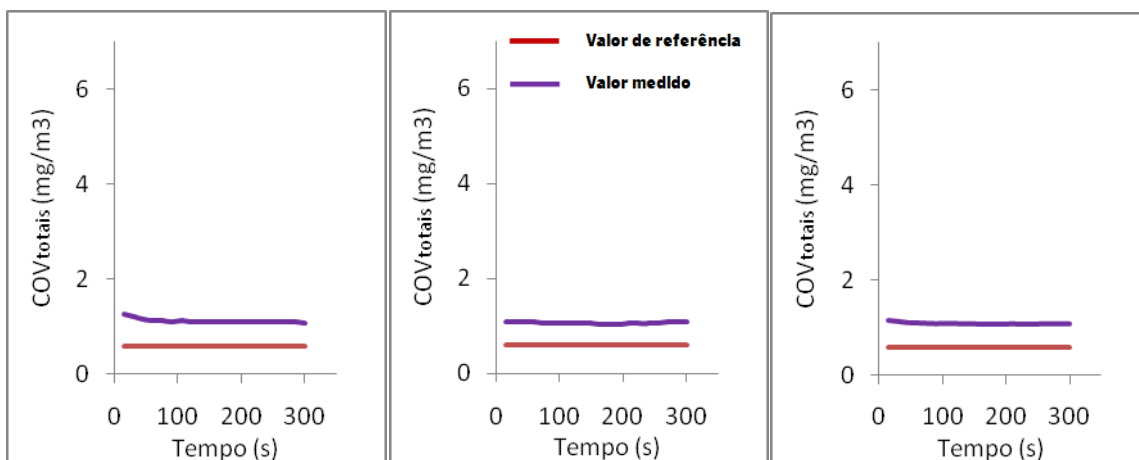


Figura IV.62 – Concentrações de  $COV_{\text{Totais}}$  no Quarto 3

Apesar de em toda a casa o valor da concentração de compostos orgânicos voláteis ser alta, na sala foram atingidos os valores mais elevados para este poluente, como se pode verificar na Figura IV.63.

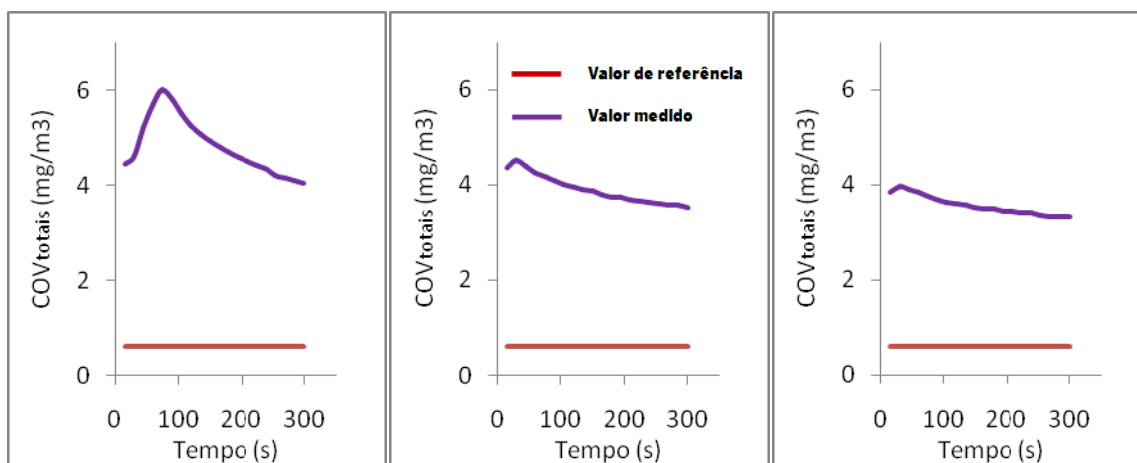


Figura IV.63 – Concentrações de COV<sub>totalis</sub> na Sala 3

As elevadas concentrações de COV, muito superiores aos valores de referência, mostram a influência que a utilização de produtos de limpeza tem na concentração deste tipo de poluentes e a importância e necessidade de ventilar os espaços para reduzir a sua concentração.

#### Formaldeído (CHOH)

Na Figura IV.64 podem observar-se os gráficos com os resultados das medições de formaldeído na Cozinha 3. Pode assim verificar-se que no momento em que foram efectuadas as medições não existia formaldeído na cozinha.

Das medições efectuadas no quarto, por sua vez, resultaram os gráficos apresentados na Figura IV.65. No Quarto 3 também não foi detectada a presença de formaldeído.

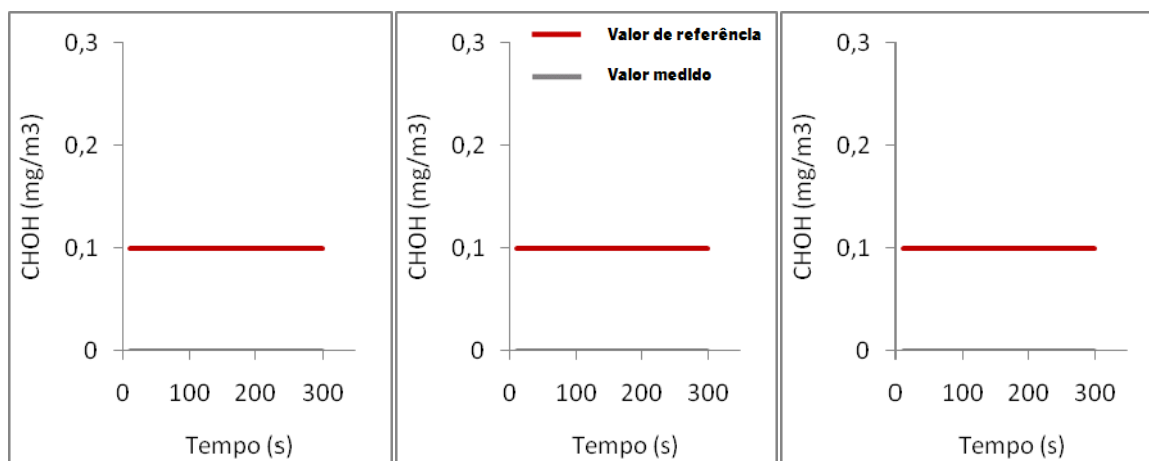


Figura IV.64 – Concentrações de CHOH na Cozinha 3

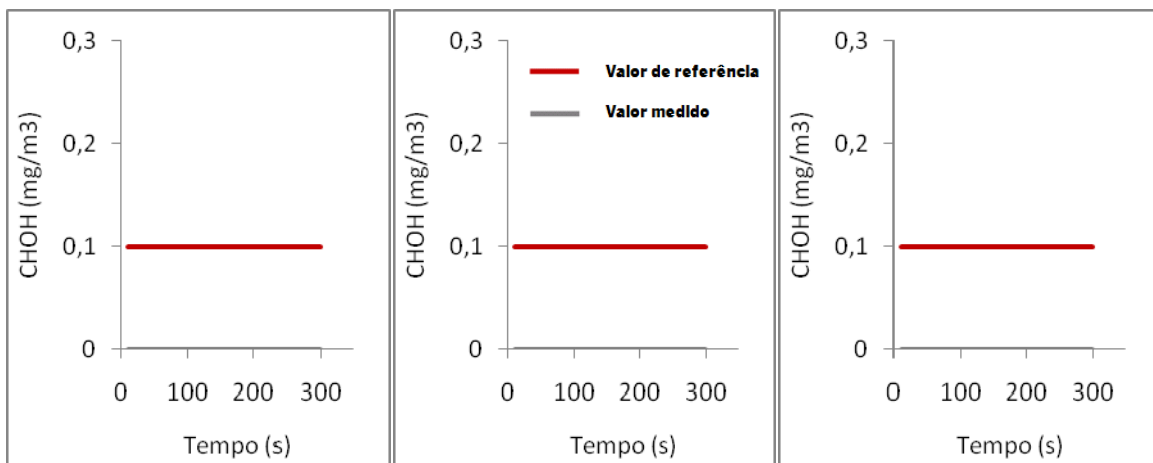


Figura IV.65 – Concentrações de CHOH no Quarto 3

Na Sala 3 também aqui não foi detectada a existência de formaldeído, como se pode observar na Figura IV.66.

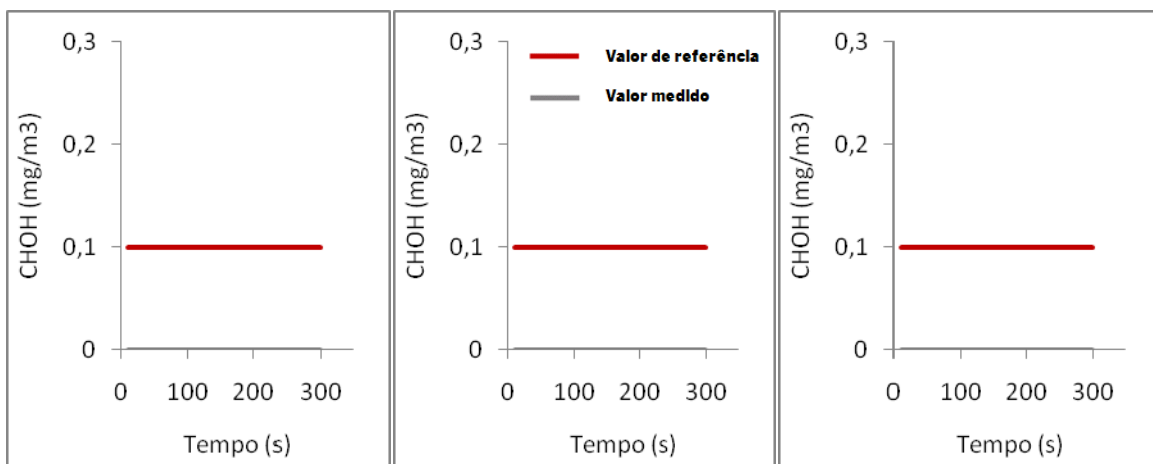


Figura IV.66 – Concentrações de CHOH na Sala 3

### Ozono (O<sub>3</sub>)

Os resultados das três medições efectuadas ao longo do tempo em três pontos distintos da cozinha, do quarto e da sala da Habitação 3, são apresentados na Figura IV.67, na Figura IV.68, e na Figura IV.69.

Em nenhum dos três compartimentos analisados na Habitação 3 foi detectada a presença de ozono.

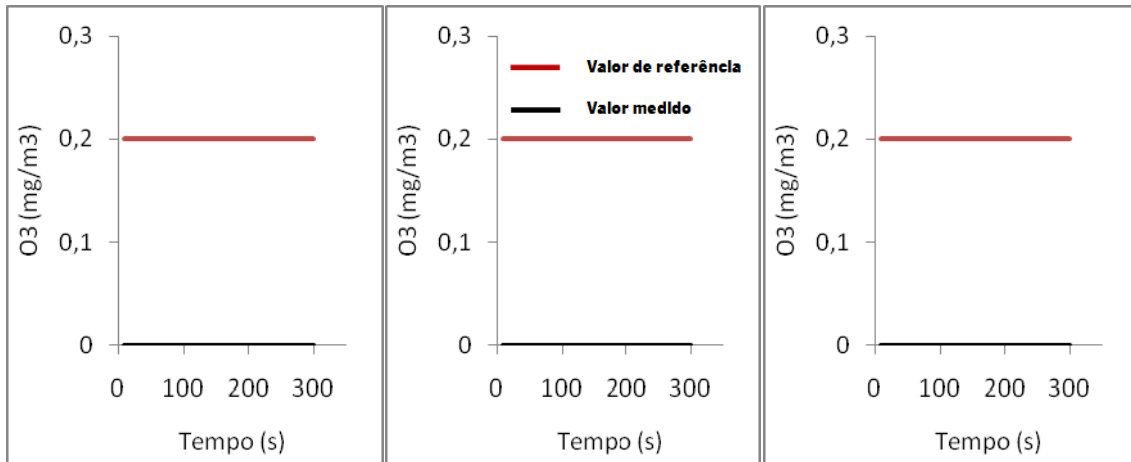


Figura IV.67 – Concentrações de O<sub>3</sub> na Cozinha 3

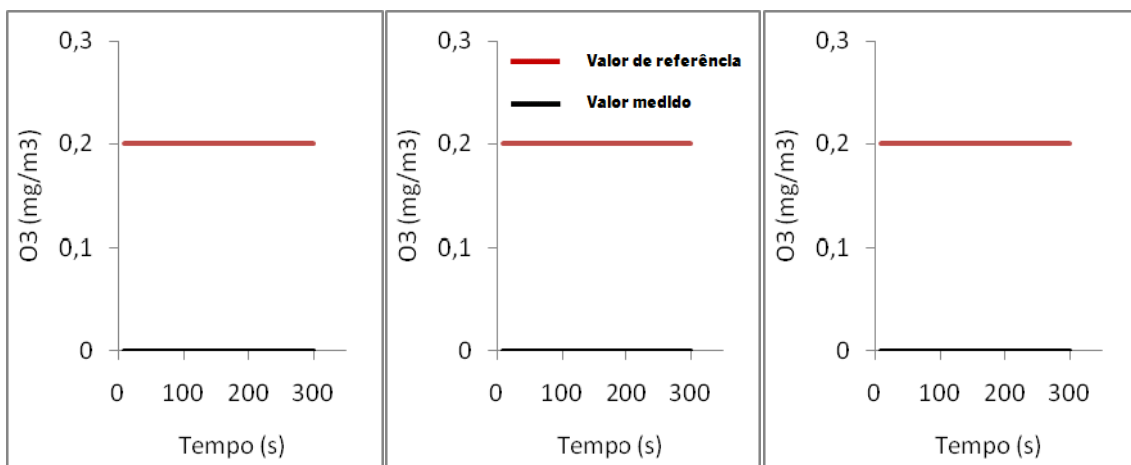


Figura IV.68 – Concentrações de O<sub>3</sub> no Quarto 3

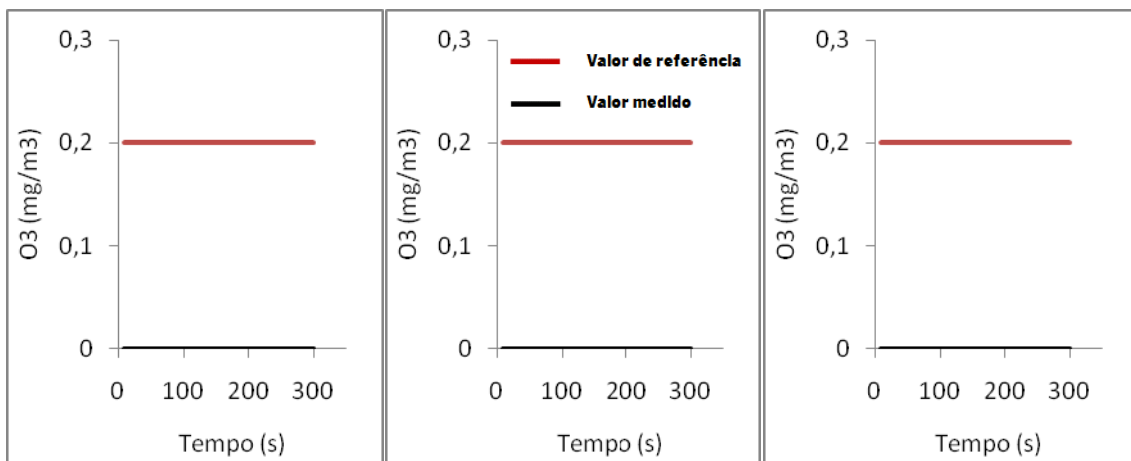


Figura IV.69 – Concentrações de O<sub>3</sub> na Sala 3

#### Partículas suspensas no ar (PM<sub>10</sub>)

Foi detectada a presença de partículas suspensas no ar, com dimensões inferiores a 10 μm, PM<sub>10</sub>, na cozinha da Habitação 3, como se pode ver na Figura IV.70.

Tratando-se da cozinha, a origem provável para as concentrações verificadas eram os processos de combustão no fogão e no esquentador.

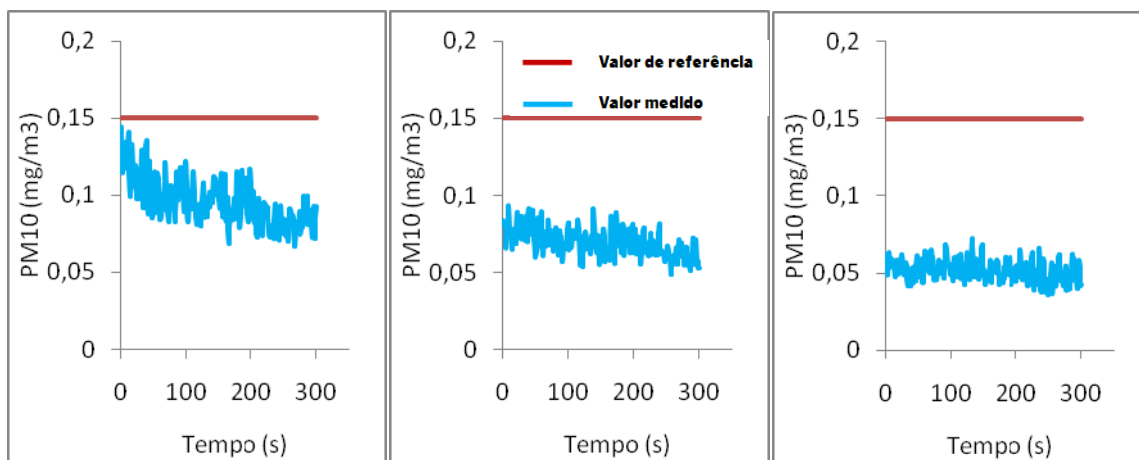


Figura IV.70 – Concentrações de  $PM_{10}$  na Cozinha 3

No Quarto 3, detectou-se igualmente a presença de partículas suspensas no ar, tal como pode ser observado na Figura IV.71.

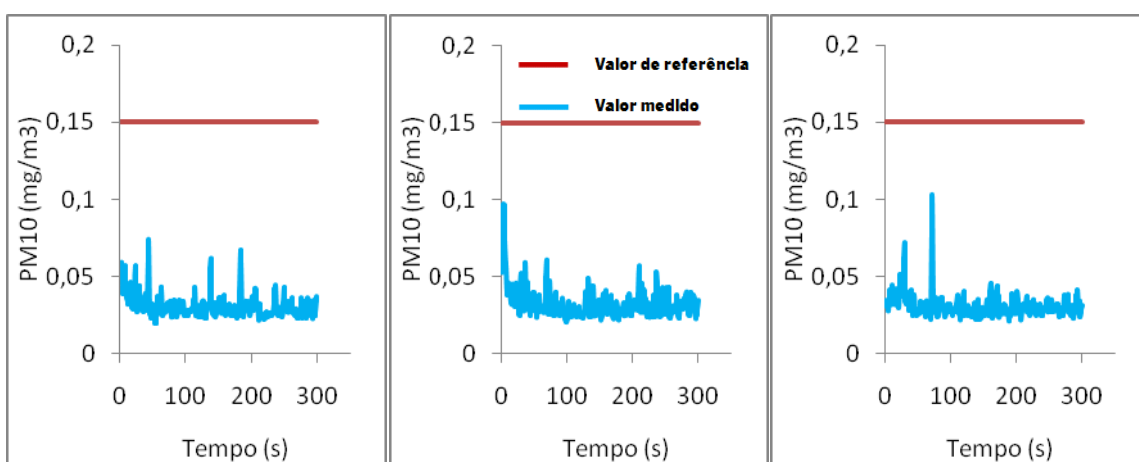


Figura IV.71 – Concentrações de  $PM_{10}$  no Quarto 3

Neste caso, as fontes poluentes poderão ser uma vez mais, o fumo de tabaco e os têxteis existentes no espaço (tapetes, cortinas, sofás em tecido, roupa de cama, etc.).

Das medições de partículas suspensas resultaram os valores apresentados nos gráficos da Figura IV.72.

Assim, as origens das concentrações de  $PM_{10}$ , que se verifica existirem na Sala 3, poderão ser os têxteis existentes (carpetes, cortinas, etc.) e a lareira (processo de combustão).

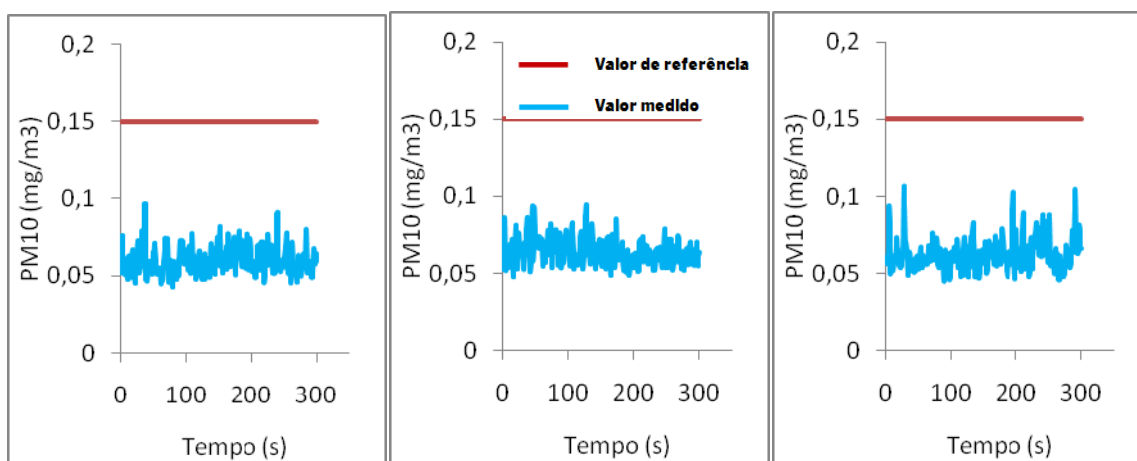


Figura IV.72 – Concentrações de  $PM_{10}$  na Sala 3

### Humidade Relativa /Temperatura

A Habitação 3 possui uma humidade relativa média de 60 % na cozinha, de 59% na sala e de 57% no quarto. Os valores de temperatura são por sua vez, em média 19°C na cozinha e na sala e 21°C no quarto.

### Verificação Regulamentar

Verificou-se que os valores regulamentares das concentrações de dióxido de carbono e de compostos orgânicos voláteis totais, definidos no Decreto-Lei 79/2006, são 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  $h^{-1}$ .

Na Tabela IV.22 apresentam-se as concentrações máximas de poluentes no exterior, obtidas através Agência Portuguesa do Ambiente ([www.qualar.org](http://www.qualar.org)).

Tabela IV.22 – Concentração máxima de poluentes no exterior ([www.qualar.org](http://www.qualar.org))

Parâmetros	Concentração máxima (mg/m³)
CO <sub>2</sub>	-
CO	0,787
PM <sub>10</sub>	0,004

De seguida apresentam-se as concentrações dos poluentes físico-químicos medidos na Habitação 4.

### Monóxido de Carbono (CO)

Conforme se pode observar na Figura IV.73 não foi detectado monóxido de carbono na cozinha da habitação 4 aquando da realização das medições.

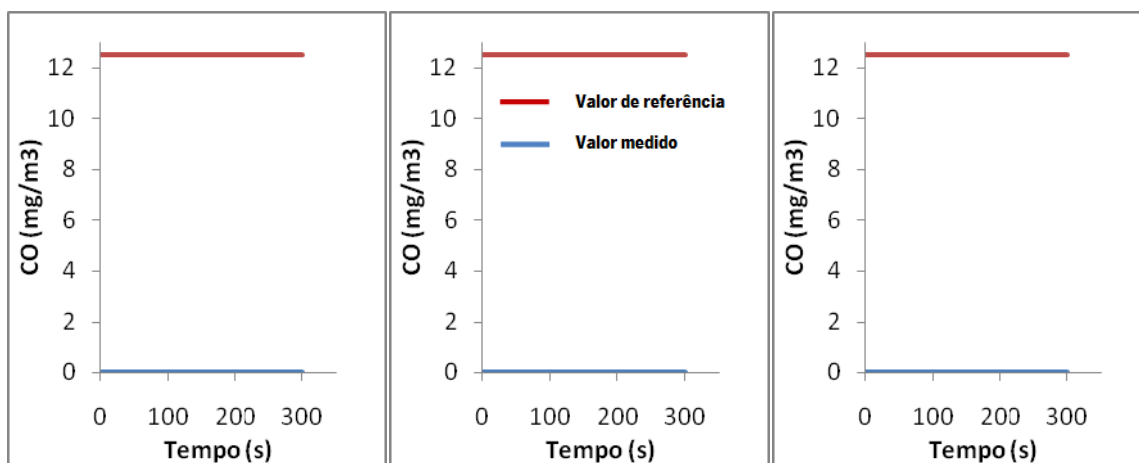


Figura IV.73 – Concentrações de CO na Cozinha 4

Da mesma forma, também não se verificou a presença de monóxido de carbono no segundo compartimento estudado, o Quarto 4, tal como mostra a Figura IV.74. No entanto, no caso da Sala 4, verificou-se que as concentrações de monóxido de carbono oscilavam entre 0 e 1,164 mg/m<sup>3</sup>, tal como se pode verificar na Figura IV.75.

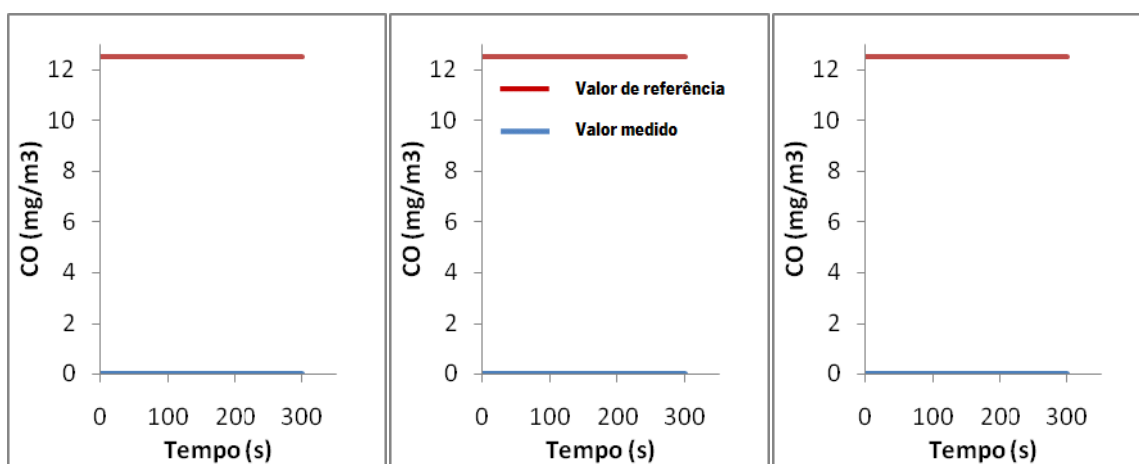


Figura IV.74 – Concentrações de CO no Quarto 4

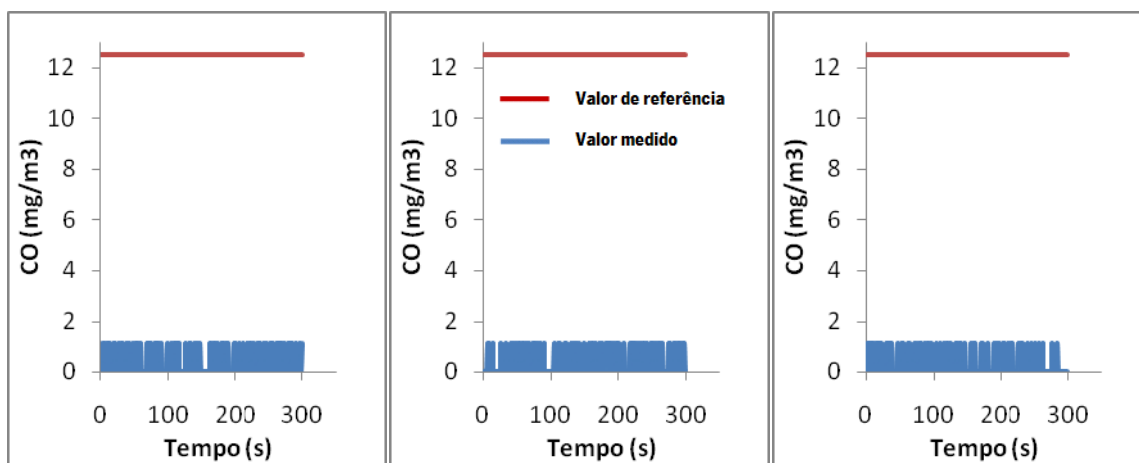


Figura IV.75 – Concentrações de CO na Sala 4



Uma fonte provável desta concentração pode ser os processos de combustão devido à existência de uma lareira e de um recuperador de calor neste compartimento.

### Dióxido de Carbono (CO)

A concentração de dióxido de carbono na Cozinha 4 encontra-se um pouco abaixo do valor regulamentar, tal como se pode verificar na Figura IV.76.

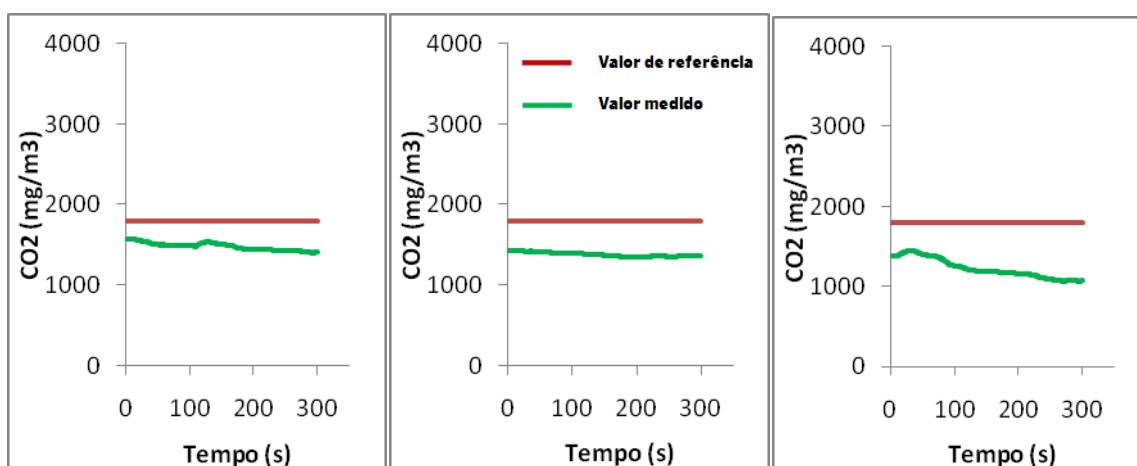


Figura IV.76 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Cozinha 4

Um dos motivos para a concentração medida poderá ser a ocupação humana, uma vez que durante as medições se encontravam, no espaço 5 pessoas. Outro motivo era, possivelmente, alguns equipamentos presentes no espaço, como um esquentador, um fogão, e uma lareira com recuperador de calor.

Relativamente às concentrações de dióxido de carbono no quarto, verifica-se que os seus valores são bastante altos, como se pode aferir na Figura IV.77.

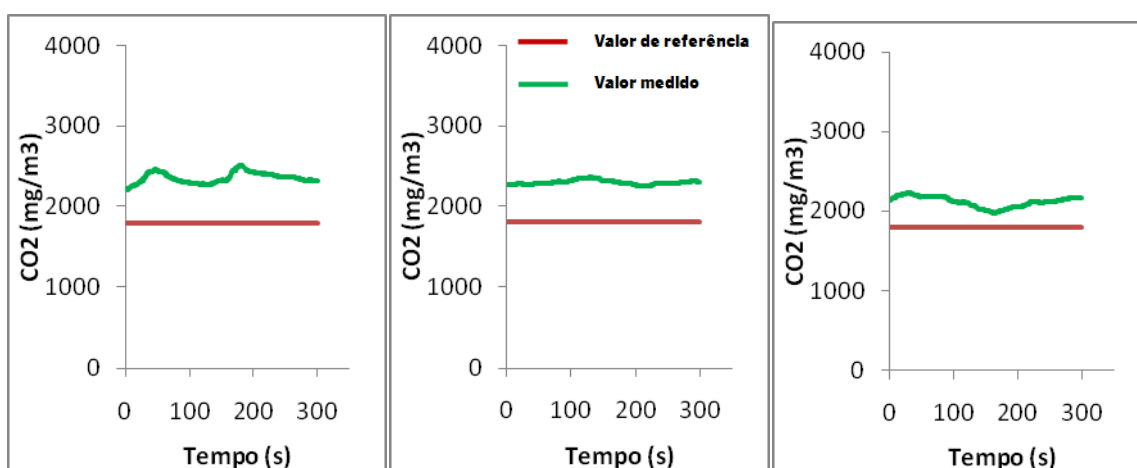


Figura IV.77 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Cozinha 4

As razões para que tal aconteça estão associadas à ocupação humana, aos processos de combustão do fogão e do esquentador, associada ao facto do espaço ser ventilado com pouca frequência.

A Sala 4 é, de todos os compartimentos estudados, aquele que apresenta maiores valores de dióxido de carbono (Figura IV.78).

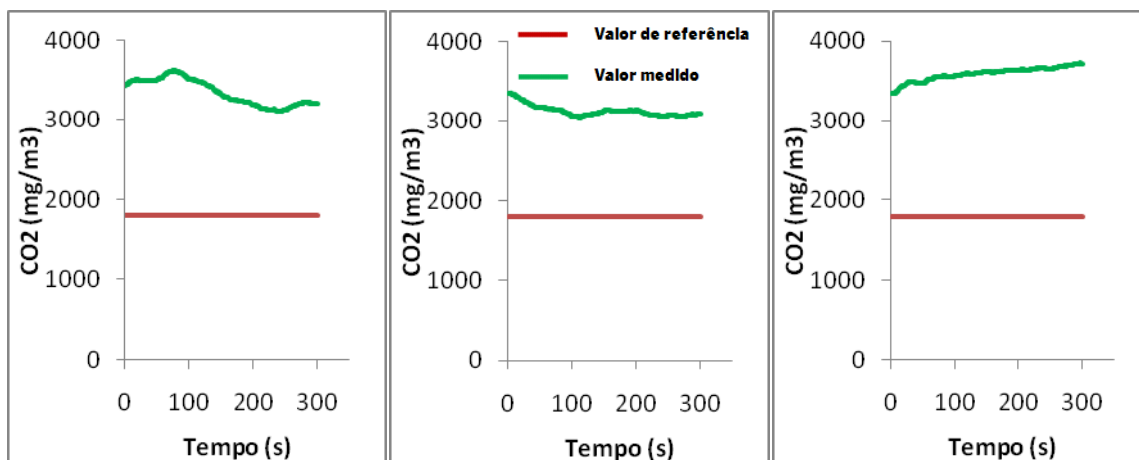


Figura IV.78 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na sala 4

As causas das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> medidas poderão advir das seguintes fontes: recuperador de calor existente no espaço, lareira e ocupação humana, em associação com o facto de o espaço ser pouco ventilado.

#### Compostos Orgânicos Voláteis totais (COV<sub>Totais</sub>)

Embora em concentrações baixas, verificou-se que, na altura em que se efectuaram as medições existiam compostos orgânicos voláteis na Cozinha 4 (Figura IV.79).

A exigência destas concentrações deve-se, possivelmente, à utilização de produtos de limpeza.

As concentrações de COV<sub>Totais</sub> medidas no Quarto 4 são apresentadas na Figura IV.80. A existência de uma grande quantidade de material de escritório no compartimento é uma das possíveis causas da existência de COV<sub>Totais</sub> no Quarto 4.

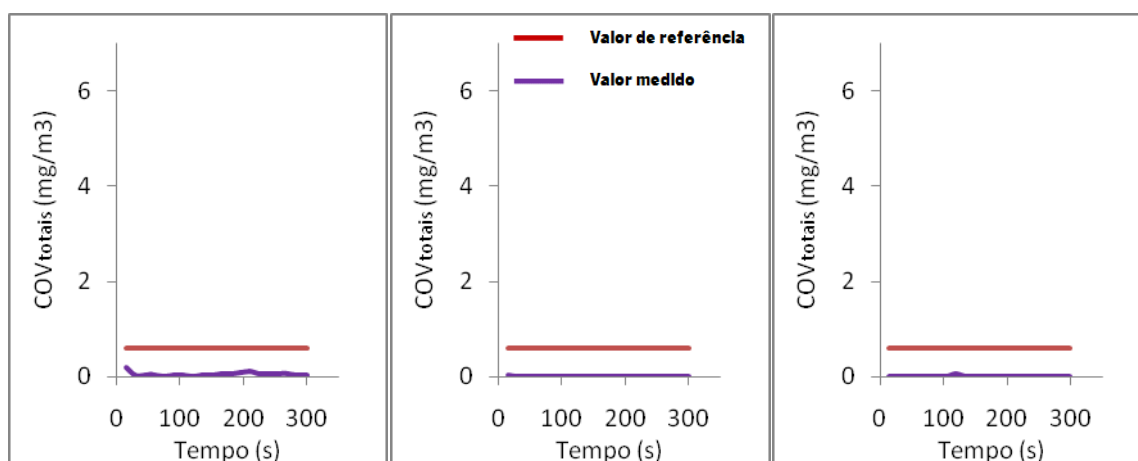


Figura IV.79 – Concentrações de COV<sub>Totais</sub> na cozinha 4

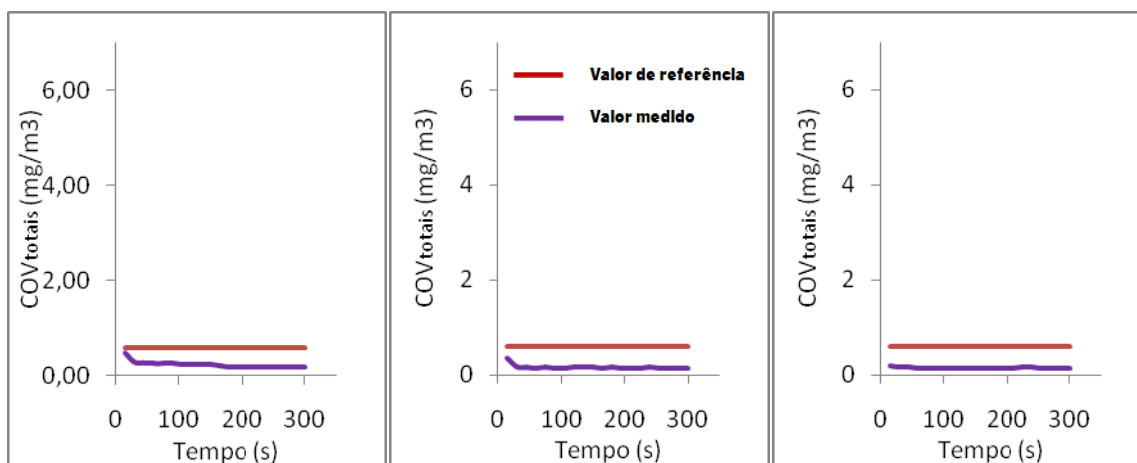


Figura IV.80 – Concentrações de  $COV_{totalis}$  no Quarto 4

Verificou-se igualmente a presença de  $COV_{totalis}$  na Sala 4. A presença deste poluente no compartimento pode ser observada na Figura IV.81.

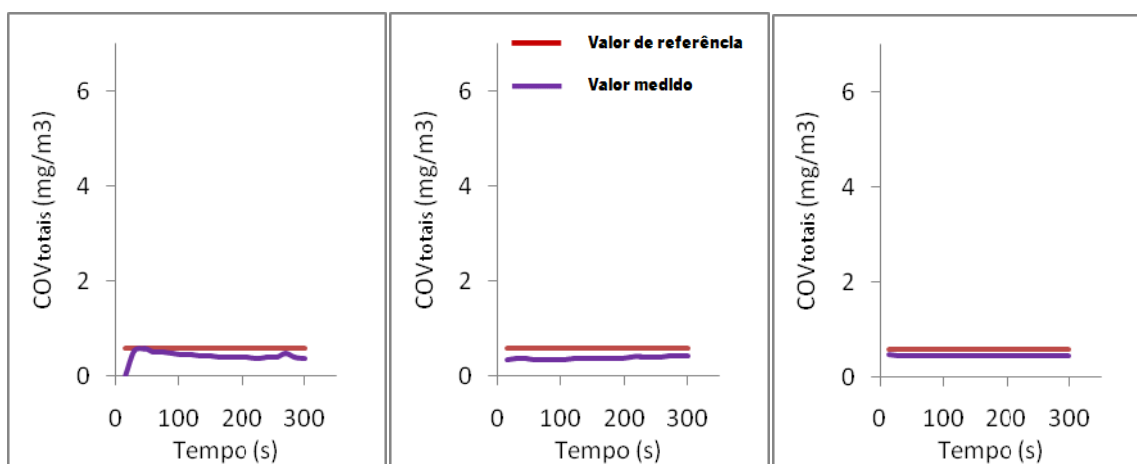


Figura IV.81 – Concentrações de  $COV_{totalis}$  na Sala 4

### Formaldeído (CHOH)

As concentrações de formaldeído medidas na Cozinha 4, no Quarto 4 e na Sala 4 são apresentadas nos gráficos da Figura IV.82, da Figura IV.83 e da Figura IV.84, respectivamente.

Como se pode verificar não foi detectada a presença de formaldeído na Habitação 4, datada de 1993 e com móveis de madeira com aproximadamente a mesma idade. Assim a emissão de formaldeído pelas tintas e vernizes já é muito reduzida.

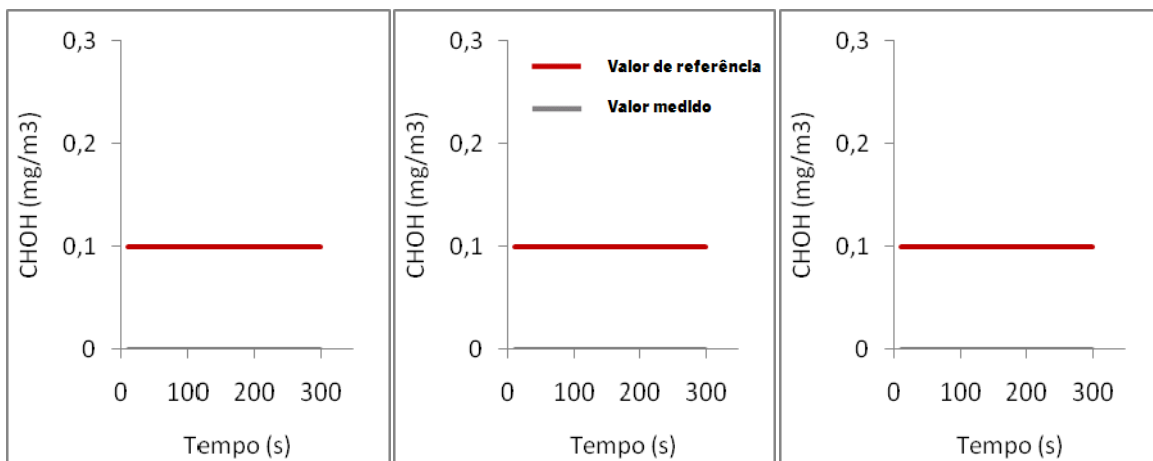


Figura IV.82 – Concentrações de CHOH na Cozinha 4

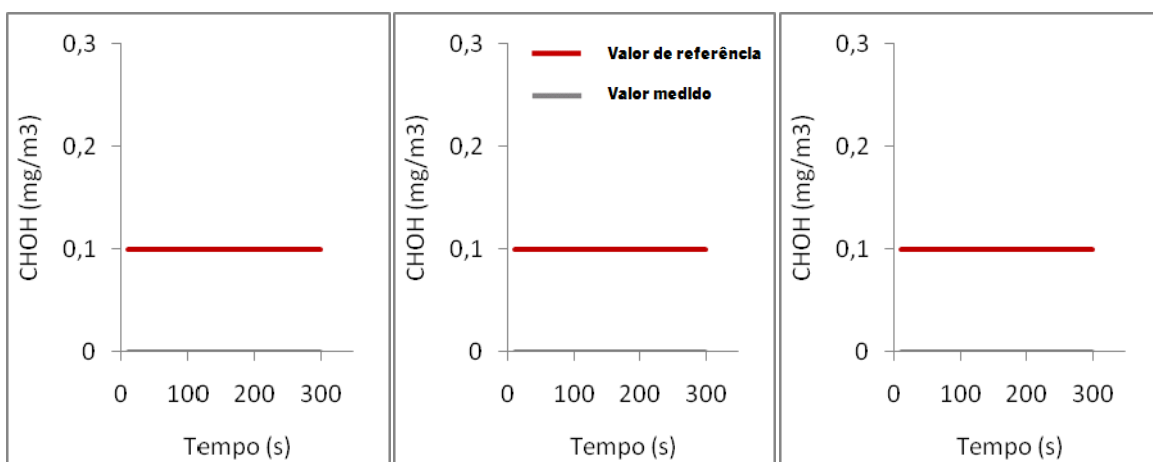


Figura IV.83 – Concentrações de CHOH no Quarto 4

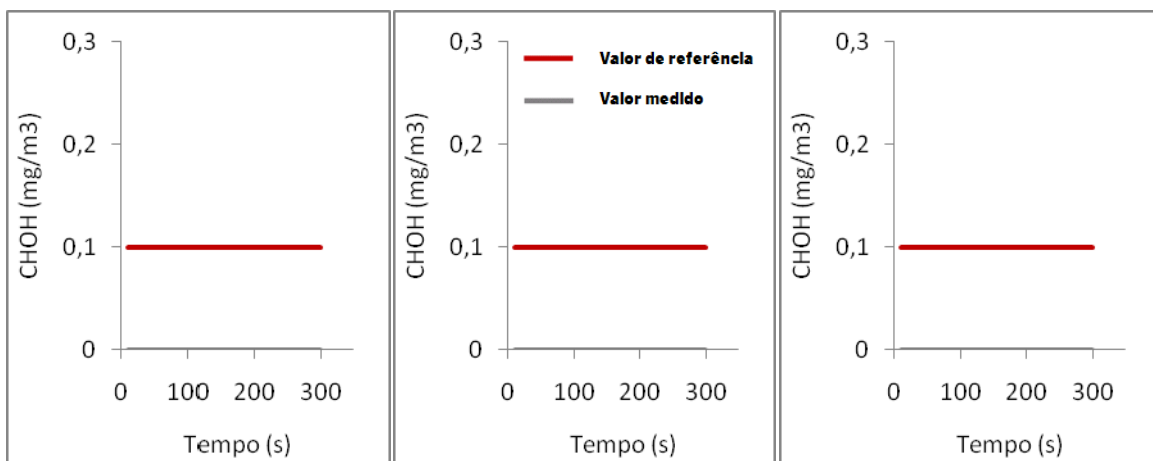


Figura IV.84 – Concentrações de CHOH na Sala 4

### Ozono (O<sub>3</sub>)

Na Cozinha 4, no Quarto 4 e na Sala 4 não foi detectada a presença de ozono, tal como mostra a Figura IV.85, a Figura IV.86 e a Figura IV.87.

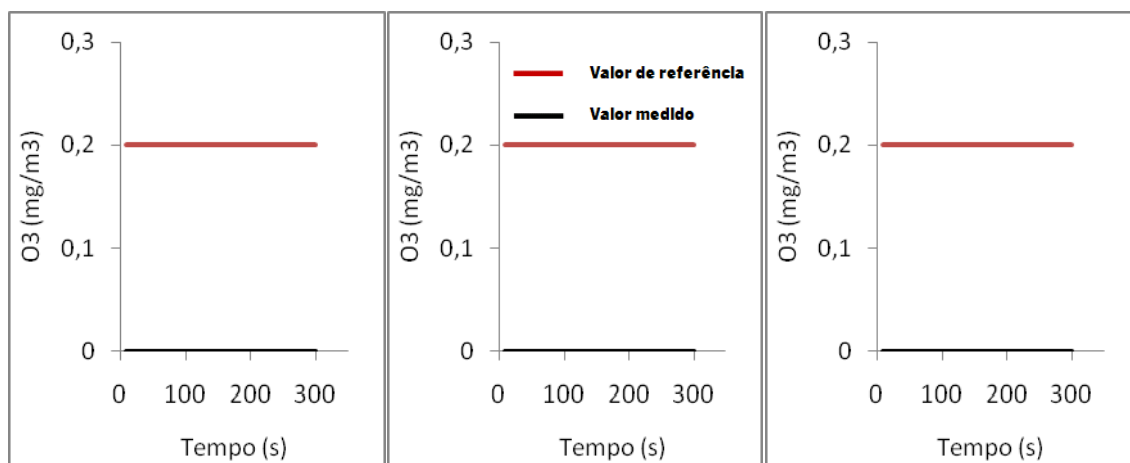


Figura IV.85 - Concentrações de O<sub>3</sub> na cozinha 4

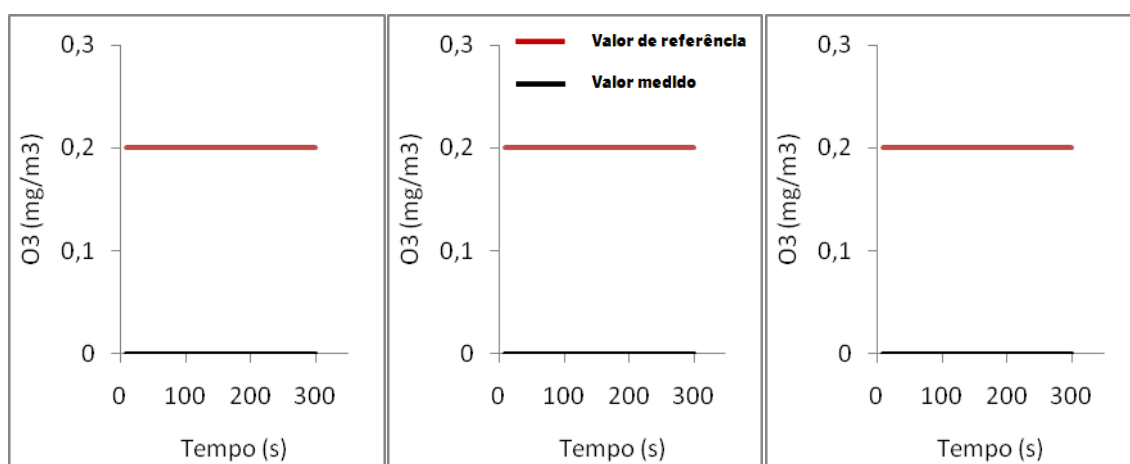


Figura IV.86 - Concentrações de O<sub>3</sub> no Quarto 4

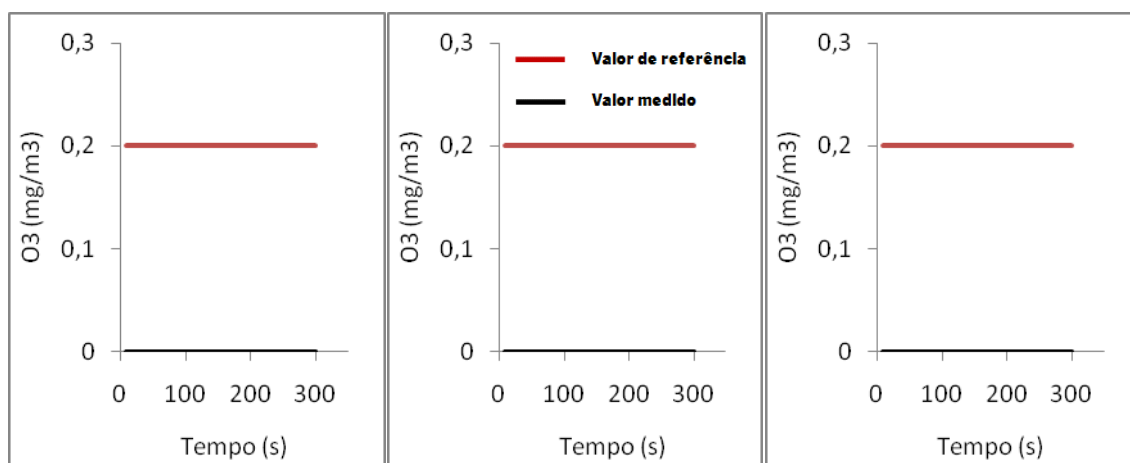


Figura IV.87 - Concentrações de O<sub>3</sub> na Sala 4

### Partículas suspensas no ar (PM<sub>10</sub>)

As medições de PM<sub>10</sub> detectaram, para o caso da Cozinha 4, uma pequena concentração deste poluente (Figura IV.88).

Esta concentração poderá ter origem nos processos de combustão que ocorrem no local, devido à utilização dos seguintes equipamentos: fogão, esquentador, lareira e recuperador de calor.

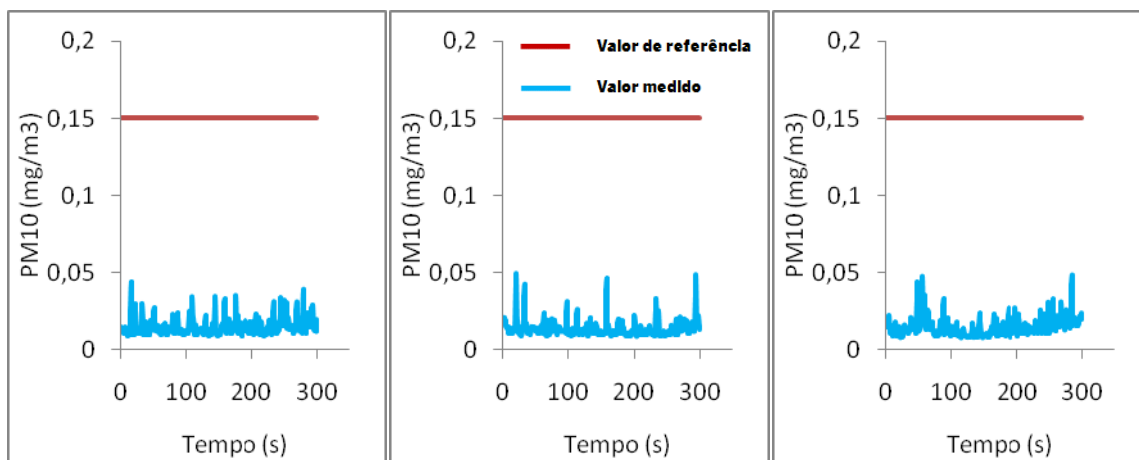


Figura IV.88 – Concentrações de PM<sub>10</sub> na Cozinha 4

No Quarto 4 foi detectada uma concentração de partículas respiráveis com uma concentração superior às detectadas na cozinha (Figura IV.89).

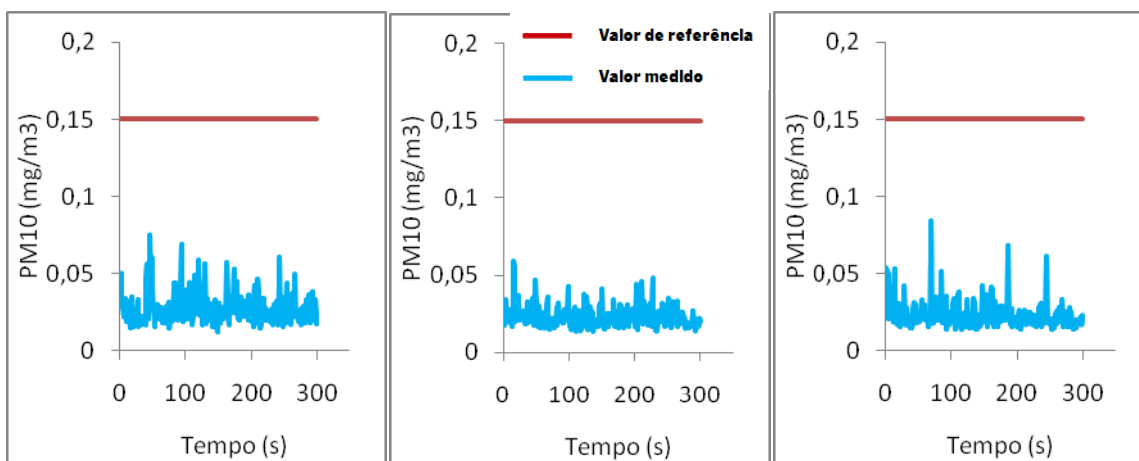


Figura IV.89 – Concentrações de PM<sub>10</sub> no Quarto 4

Como possíveis causas para a existência destas concentrações, podem apontar-se os têxteis existentes no espaço: tapetes, roupa, cortinas.

Os valores de PM<sub>10</sub> medidos na Sala 4 (Figura IV.90) podem dever-se aos processos de combustão (utilização da lareira e recuperador de calor), e nos têxteis que se encontram no espaço (carpetes).

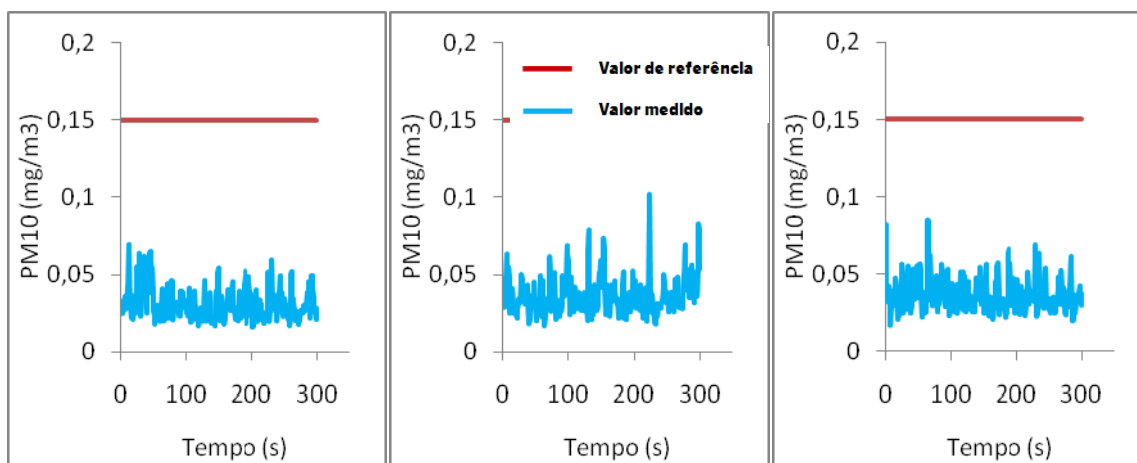


Figura IV.90 – Concentrações de  $PM_{10}$  na Sala 4

### Humidade Relativa /Temperatura

A temperatura ambiente medida na Habitação 4 foi de 17°C no quarto, 18°C na cozinha e 20°C na sala. A humidade relativa medida foi de 57% no quarto e na sala e de 54% na cozinha. Os valores encontrados eram próximos dos valores de referência (20°C e 50%HR).

### Verificação Regulamentar

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  $h^{-1}$ .

Na Tabela IV.23 apresentam-se as concentrações máximas de poluentes no exterior, obtidas através Agência Portuguesa do Ambiente ([www.qualar.org](http://www.qualar.org)).

Tabela IV.23 – Concentração máxima de poluentes no exterior ([www.qualar.org](http://www.qualar.org))

Parâmetros	Concentração máxima (mg/m³)
CO <sub>2</sub>	-
CO	1,011
PM <sub>10</sub>	0,0028

De seguida apresentam-se as concentrações dos poluentes físico-químicos medidos na Habitação 5.1.

### Monóxido de Carbono (CO)

Na Figura IV.91 e na Figura IV.92, respectivamente, apresentam-se os gráficos correspondentes às medições da concentração de monóxido de carbono na cozinha e no quarto da Habitação 5.1.

Desta forma, verifica-se que não foi detectada a presença de monóxido de carbono na cozinha nem no quarto da Habitação 5.1, durante as três medições efectuadas.

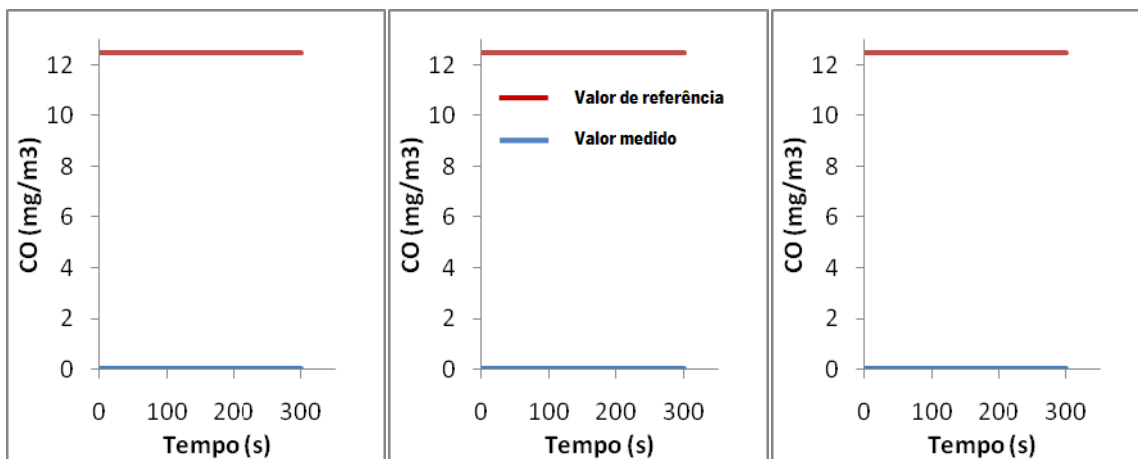


Figura IV.91 - Concentrações de CO medidas na Cozinha 5.1

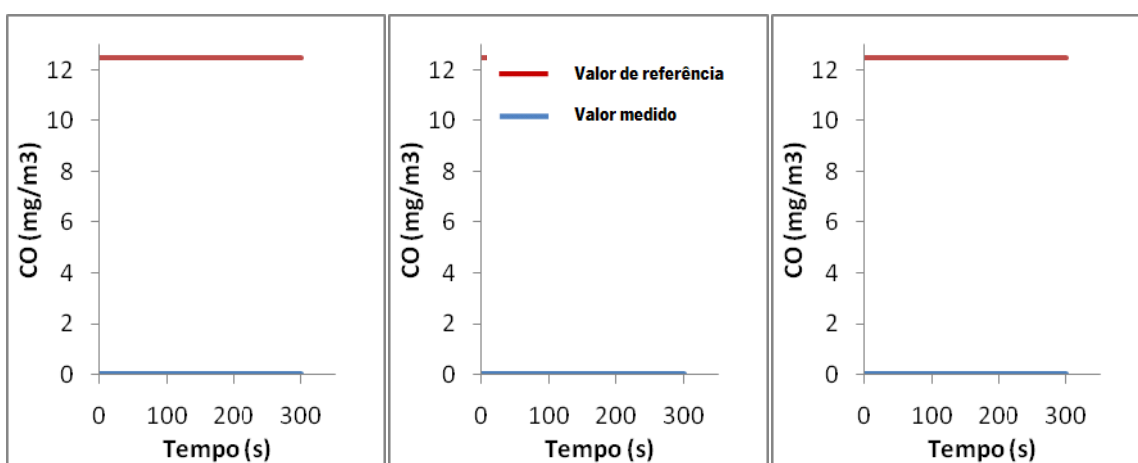


Figura IV.92 - Concentrações de CO no Quarto 5.1

Na Sala 5.1, ao contrário do sucedido na cozinha e no quarto, foi detectada a presença de pequenas concentrações de monóxido de carbono, como se pode ver na Figura IV.93.

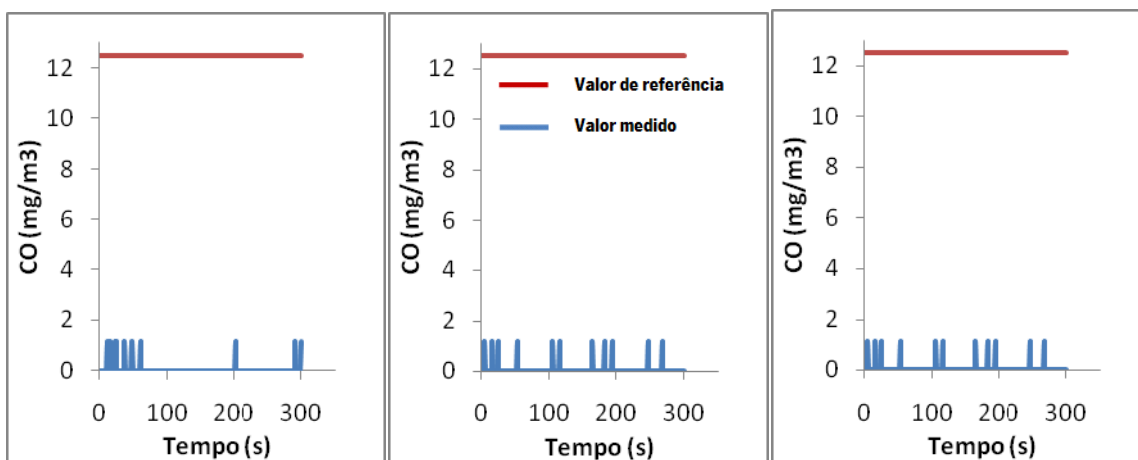


Figura IV.93 - Concentrações de CO na Sala 5.1



As possíveis causas da presença de monóxido de carbono neste compartimento podem estar relacionados com o facto de um dos moradores ser fumador e fumar, pontualmente, neste espaço. Para além disso, a casa encontra-se próxima a uma via com significativa circulação automóvel o que poderá também estar na origem da existência de CO na habitação.

### Dióxido de Carbono (CO)

No que respeita às medições de dióxido de carbono na cozinha da Habitação 5.1, apresentadas na Figura IV.94, observou-se que as concentrações deste poluente eram bastante elevadas, podendo dever-se aos processos de combustão (que podem advir da utilização de alguns equipamentos, como o fogão ou o esquentador) e a contaminação exterior (tráfego automóvel).

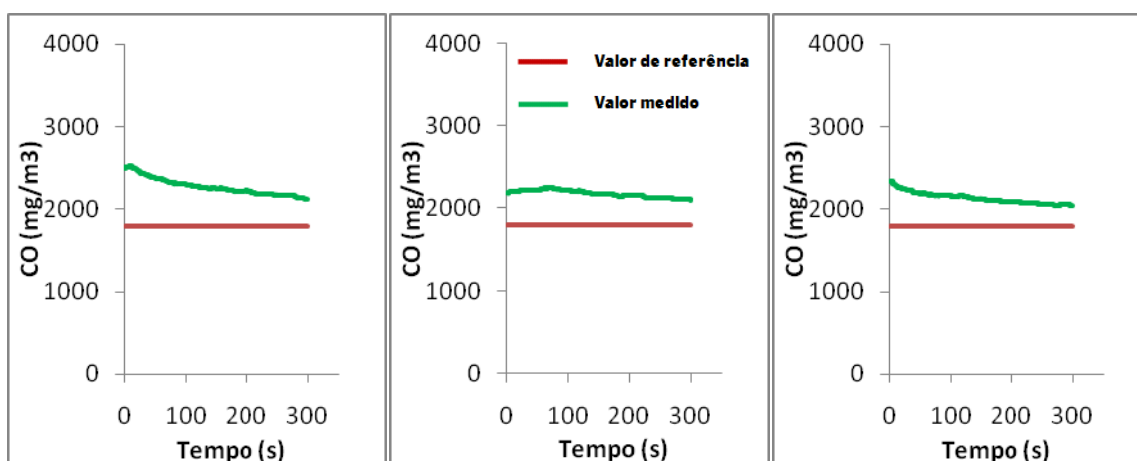


Figura IV.94 - Concentrações de CO<sub>2</sub> na Cozinha 5.1

No Quarto 5.1 e na Sala 5.1, foram também detectadas elevadas concentrações de dióxido de carbono, como se pode observar na Figura IV.95 e na Figura IV.96.

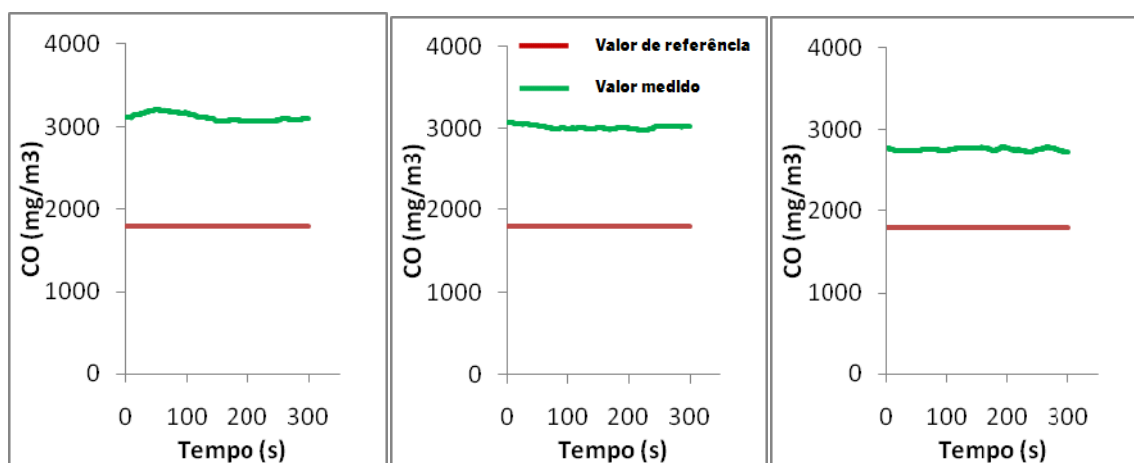


Figura IV.95 - Concentrações de CO<sub>2</sub> no Quarto 5.1

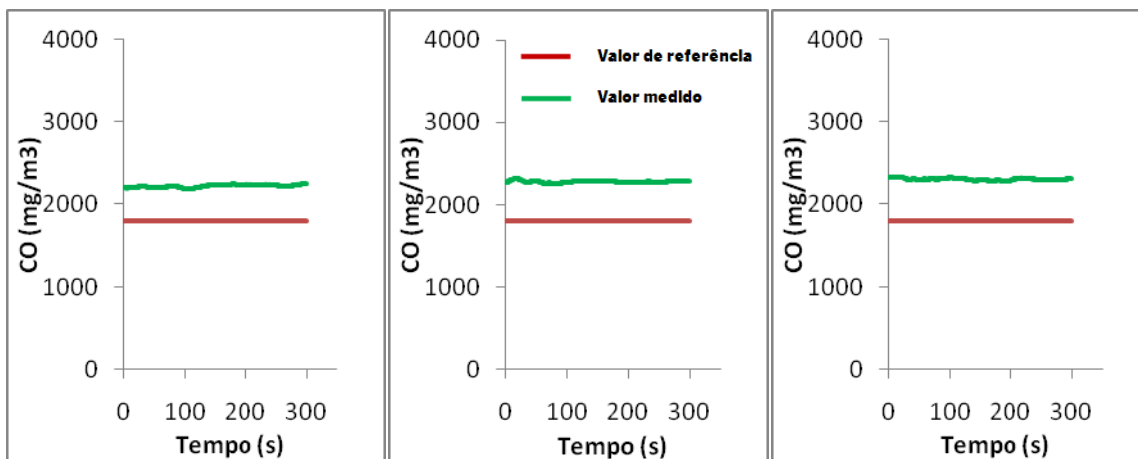


Figura IV.96 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Sala 5.1

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).

#### Compostos Orgânicos Voláteis totais (COV<sub>Totais</sub>)

As concentrações obtidas de compostos orgânicos voláteis para a cozinha da Habitação 5.1 são apresentadas na Figura IV.97.

A concentração de COV<sub>Totais</sub> 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<sub>Totais</sub> encontradas foram superiores às da cozinha, como se pode verificar na Figura IV.98 e na Figura IV.99.

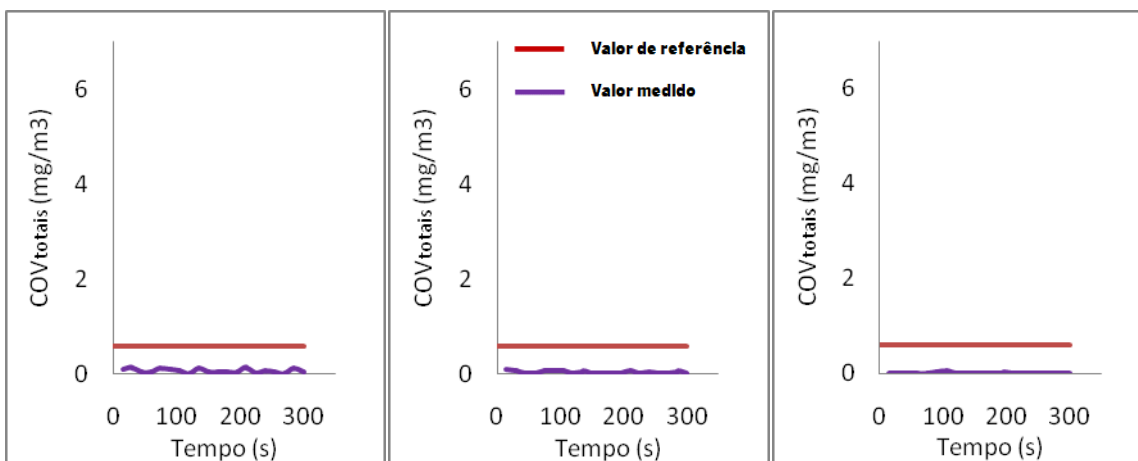


Figura IV.97 – Concentrações de COV<sub>Totais</sub> na Cozinha 5.1

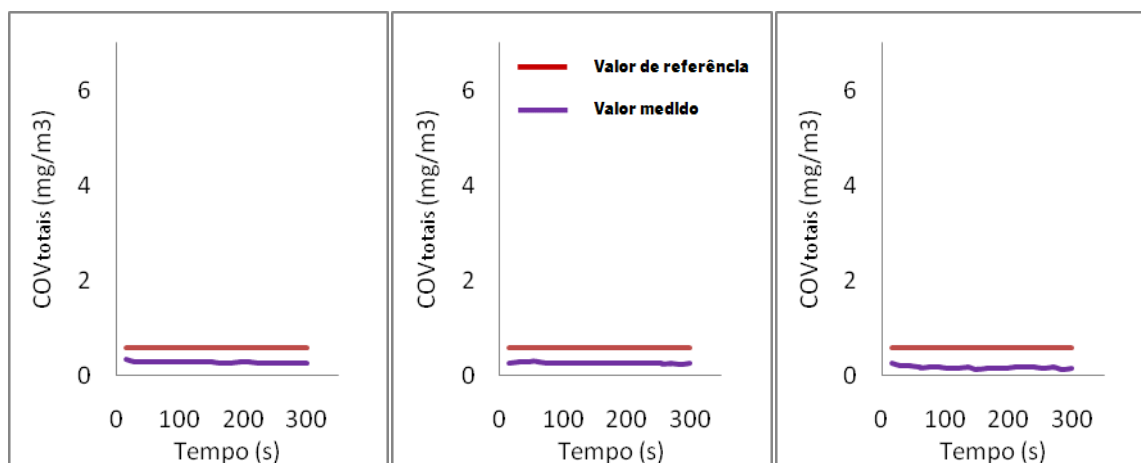


Figura IV.98 – Concentrações de  $COV_{totalis}$  no Quarto 5.1

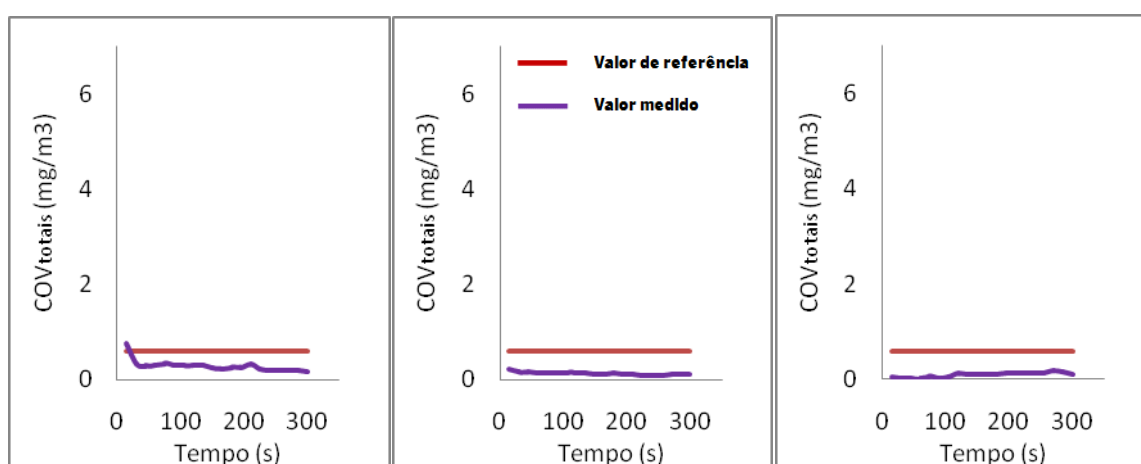


Figura IV.99 – Concentrações de  $COV_{totalis}$  na Sala 5.1

A origem das concentrações de  $COV_{Totalis}$  no quarto poderá ser a utilização de perfumes e produtos de cosmética. No caso da sala, as concentrações medidas podem ter origem nos detergentes utilizados na limpeza do local e no facto de haver muitas velas espalhadas pelo compartimento.

### Formaldeído (CHOH)

Na Figura IV.100, na Figura IV.101 e na Figura IV.102, são apresentados os resultados das medições de formaldeído na Cozinha 5.1, no Quarto 5.1 e na Sala 5.1, respectivamente.

Em nenhum dos compartimentos da Habitação 5.1 analisados foi detectada a presença de formaldeído.

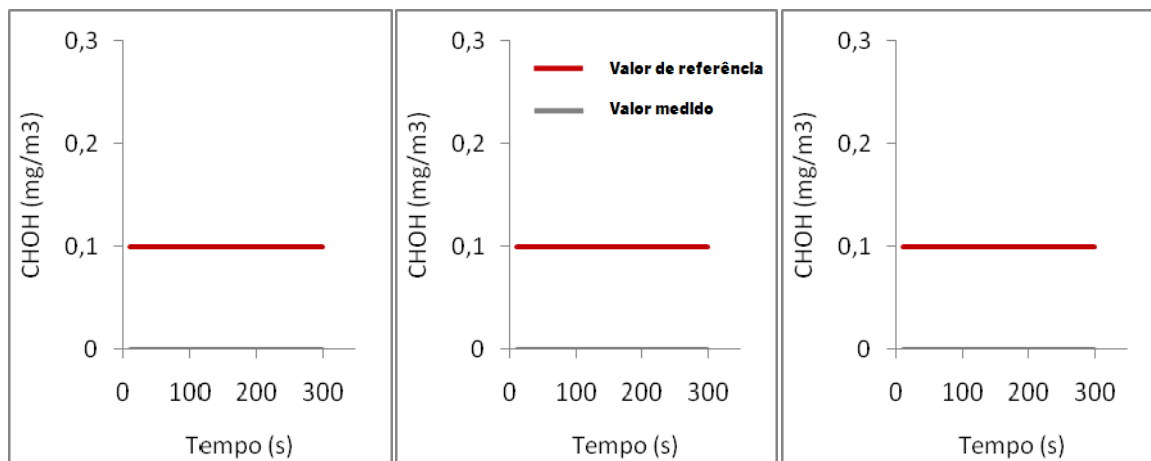


Figura IV.100 – Concentrações de CHOH na Cozinha 5.1

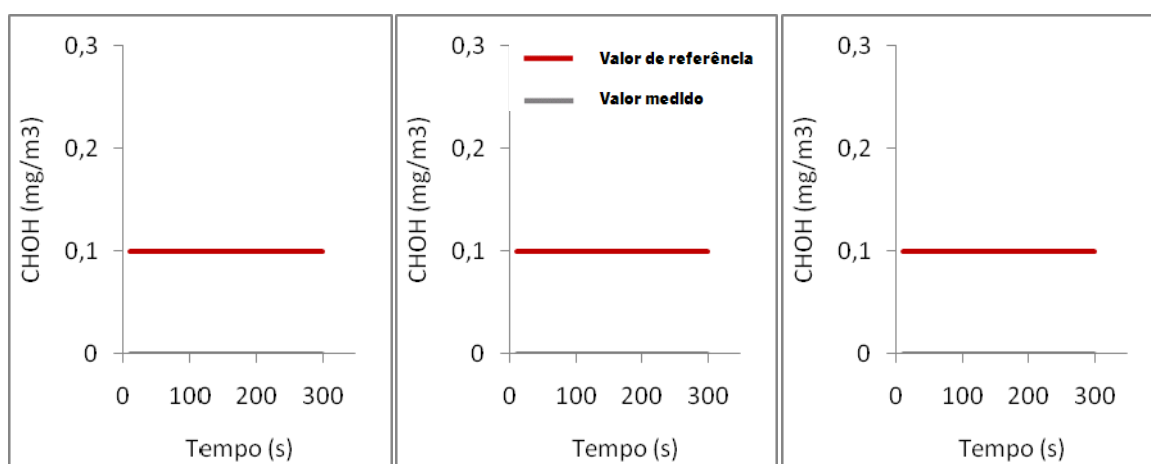


Figura IV.101 – Concentrações de CHOH no Quarto 5.1

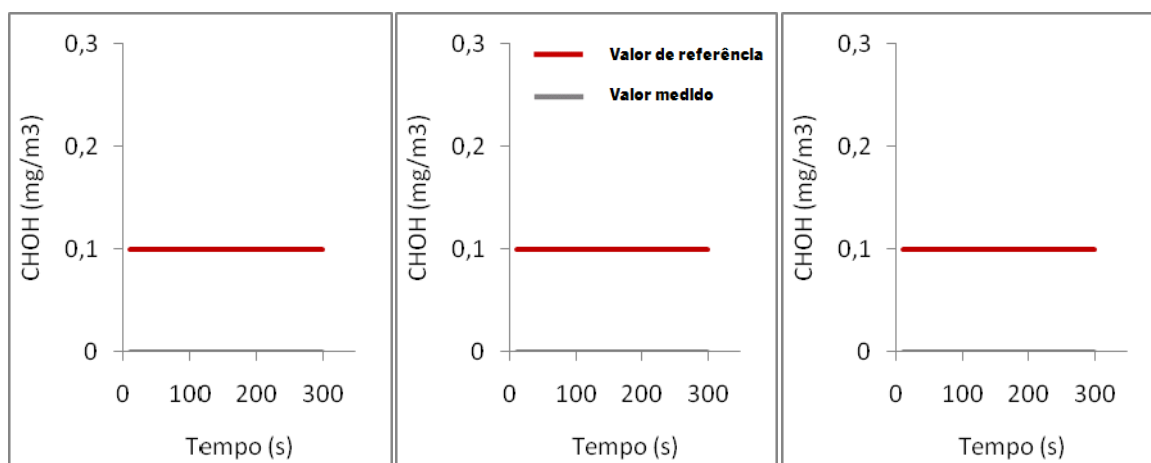


Figura IV.102 – Concentrações de CHOH na Sala 5.1

### Ozono (O<sub>3</sub>)

Tal como mostram a Figura IV.103, a Figura IV.104 e a Figura IV.105 não foi detectada a presença de ozono em nenhum dos compartimentos da Habitação 5.1 estudados.

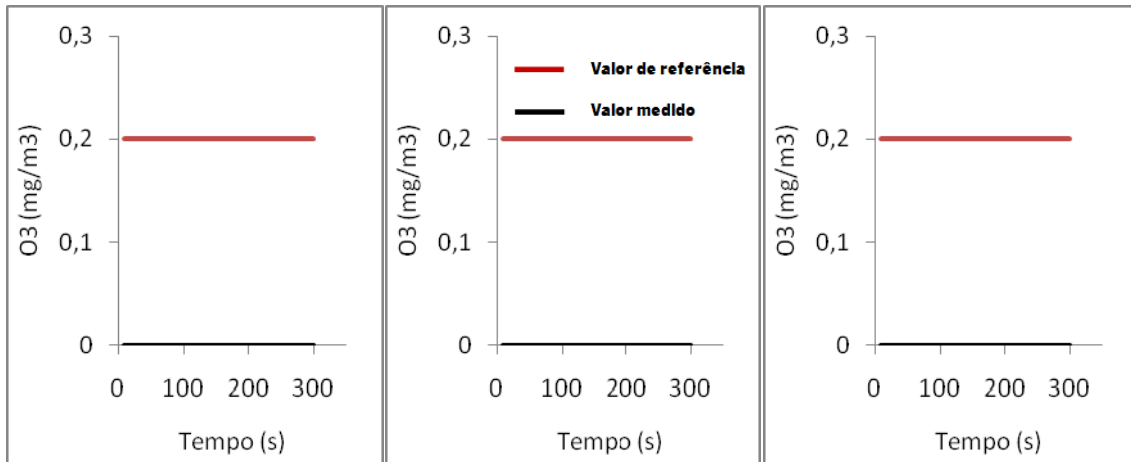


Figura IV.103 - Concentrações de O<sub>3</sub> na Cozinha 5.1

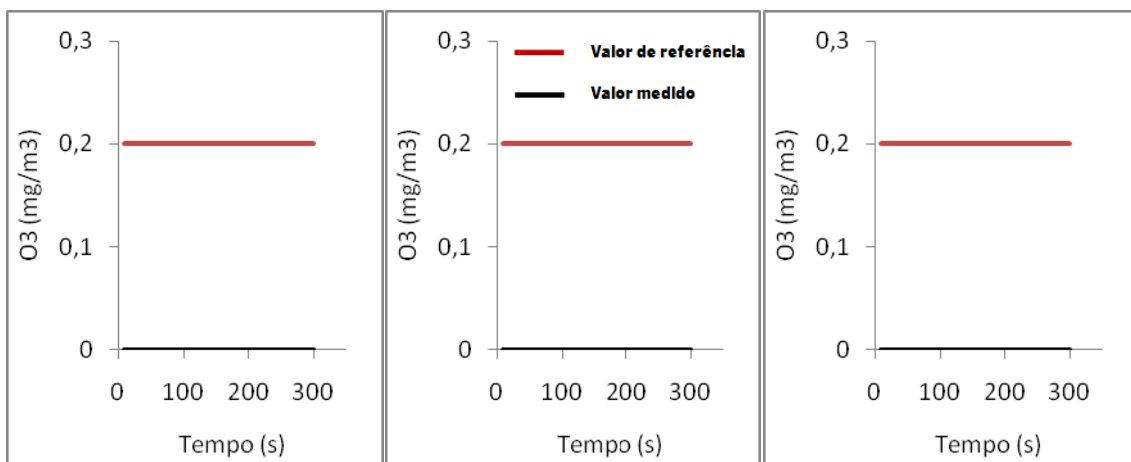


Figura IV.104 - Concentrações de O<sub>3</sub> no Quarto 5.1

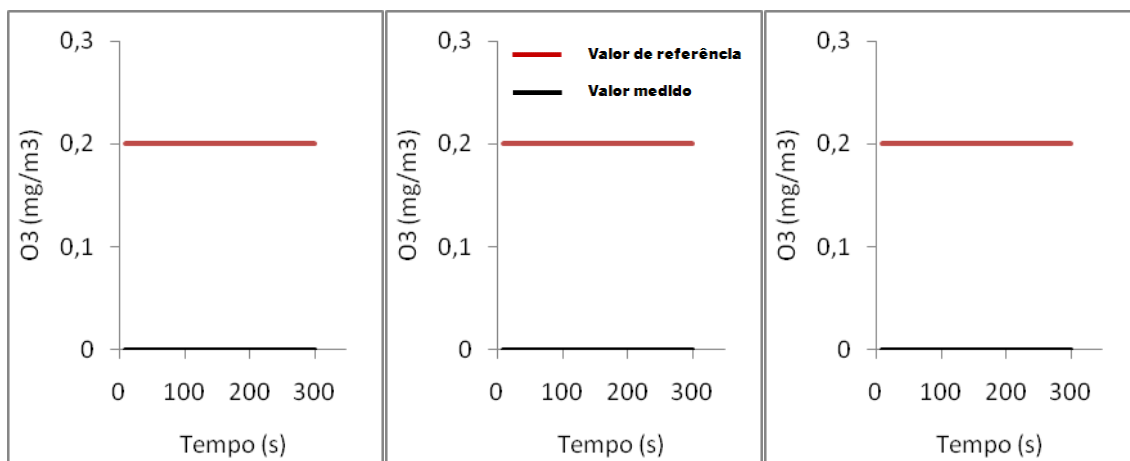


Figura IV.105 - Concentrações de O<sub>3</sub> na Sala 5.1

### Partículas suspensas no ar (PM<sub>10</sub>)

Nas medições efectuadas na Cozinha 5.1 foram detectadas as concentrações de partículas respiráveis que se apresentam na Figura IV.106.

Neste compartimento a origem das partículas poderá dever-se aos processos de combustão do fogão e do esquentador e o fumo de tabaco.

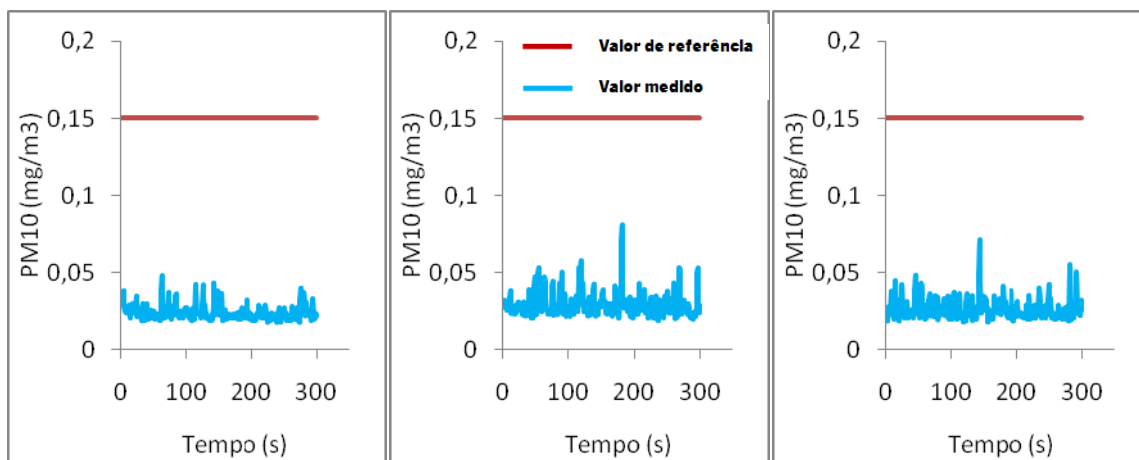


Figura IV.106 – Concentrações de PM<sub>10</sub> na Cozinha 5.1

Na Figura IV.107 apresenta-se a concentração de partículas respiráveis detectadas. A origem provável para a existência de partículas no quarto é a quantidade de têxteis característicos do espaço (roupa, tapetes, cortinas, etc.).

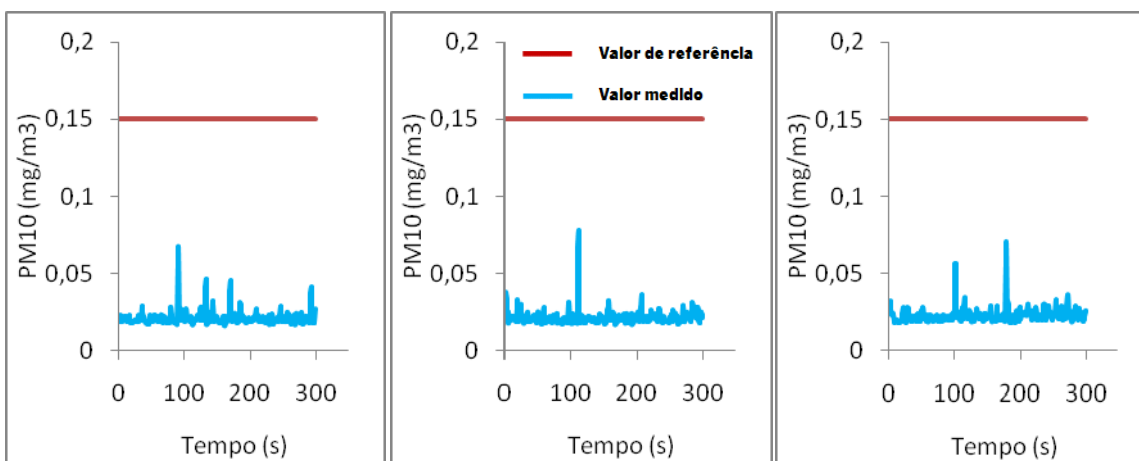


Figura IV.107 – Concentrações de PM<sub>10</sub> no Quarto 5.1

A Sala5.1 é, o entanto, o compartimento que apresenta maiores níveis de partículas como se pode observar na Figura IV.108.

O motivo para esta ocorrência poderá advir das seguintes fontes: fumo de tabaco, contaminação exterior, mais precisamente o tráfego automóvel e a existência de têxteis como o sofá em tecido, as carpetes e as cortinas.

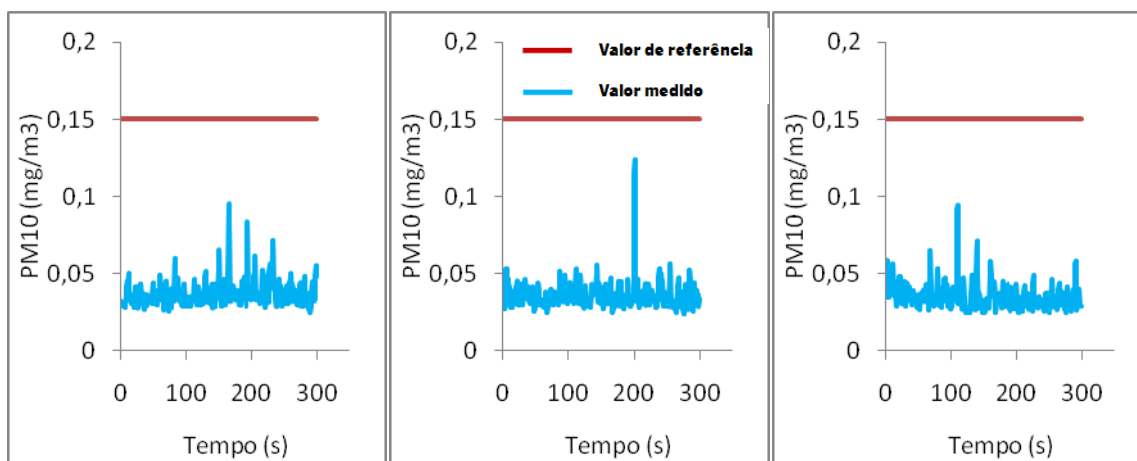


Figura IV.108 – Concentrações de  $PM_{10}$  na Sala 5.1

### Humidade Relativa / Temperatura

A Habitação 5.1 possui valores de humidade relativa elevados e valores de temperatura baixos quando comparados com os valores de referência do Decreto-Lei 80/2006. Assim, a humidade relativa média era, para o quarto de 74%, para a cozinha e para a sala de 66%. Por sua vez a temperatura era para a cozinha, sala e quarto, respectivamente 17°C, 18°C e 16°C.

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).

### Verificação Regulamentar

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<sup>-1</sup>.

Na Tabela IV.24 apresentam-se as concentrações máximas de poluentes no exterior, obtidas através Agência Portuguesa do Ambiente ([www.qualar.org](http://www.qualar.org)).

Tabela IV.24 – Concentração máxima de poluentes no exterior ([www.qualar.org](http://www.qualar.org))

Parâmetros	Concentração máxima (mg/m <sup>3</sup> )
CO <sub>2</sub>	-
CO	0,751
PM <sub>10</sub>	0,0036

De seguida apresentam-se as concentrações dos poluentes físico-químicos medidos na Habitação 6.1.

### Monóxido de Carbono (CO)

A concentração de monóxido de carbono medida na cozinha da Habitação 6.1 é apresentada na Figura IV.109.

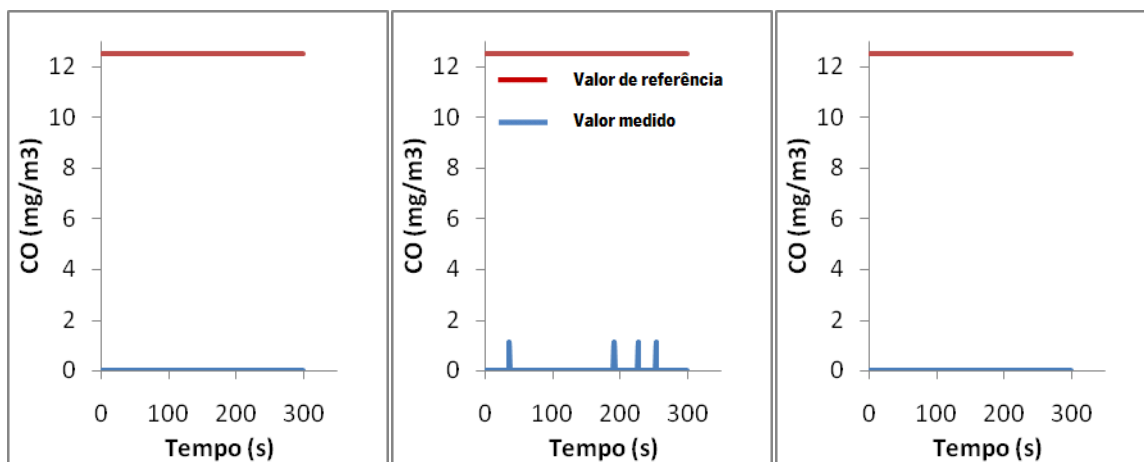


Figura IV.109 - Concentrações de CO na cozinha 6.1

A Habitação 6.1 possui na cozinha, um fogão e um esquentador, equipamentos cujos processos de combustão poderão justificar a presença de monóxido de carbono neste espaço.

No quarto da Habitação 6.1 não foi detectada a presença de monóxido de carbono, tal como mostra a Figura IV.110.

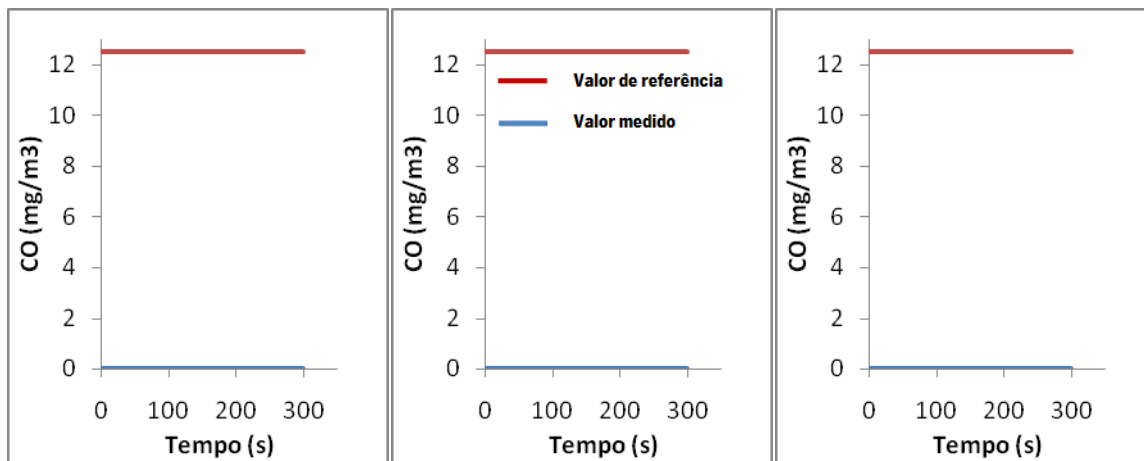


Figura IV.110 - Concentrações de CO no Quarto 6.1

Na Sala 6.1 foram medidas as concentrações de monóxido de carbono apresentadas na Figura IV.111.



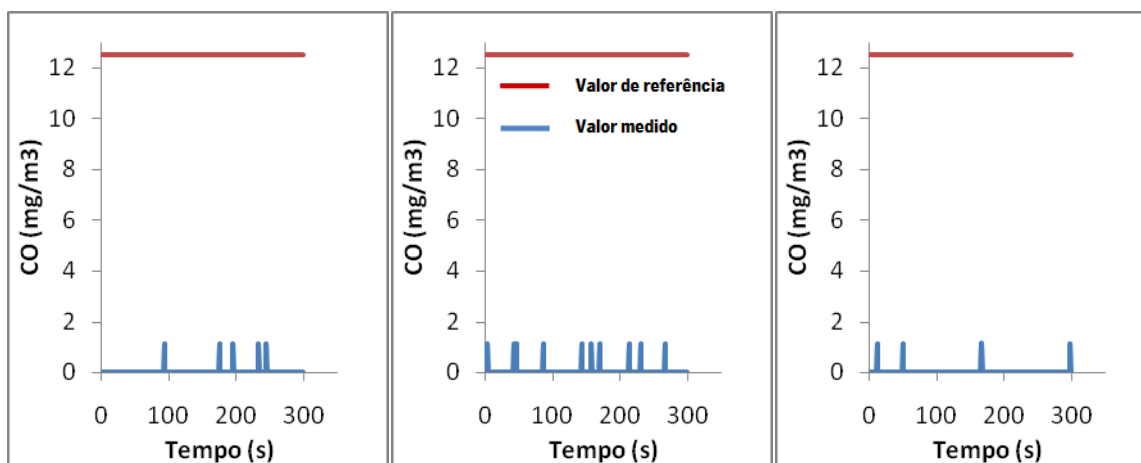


Figura IV.111 – Concentrações de CO na Sala 6.1

Tal como acontece na Habitação 2.1 e na Habitação 5.1, também 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.

#### Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

As concentrações de dióxido de carbono medidas na cozinha da Habitação 6.1 são apresentadas na Figura IV.112.

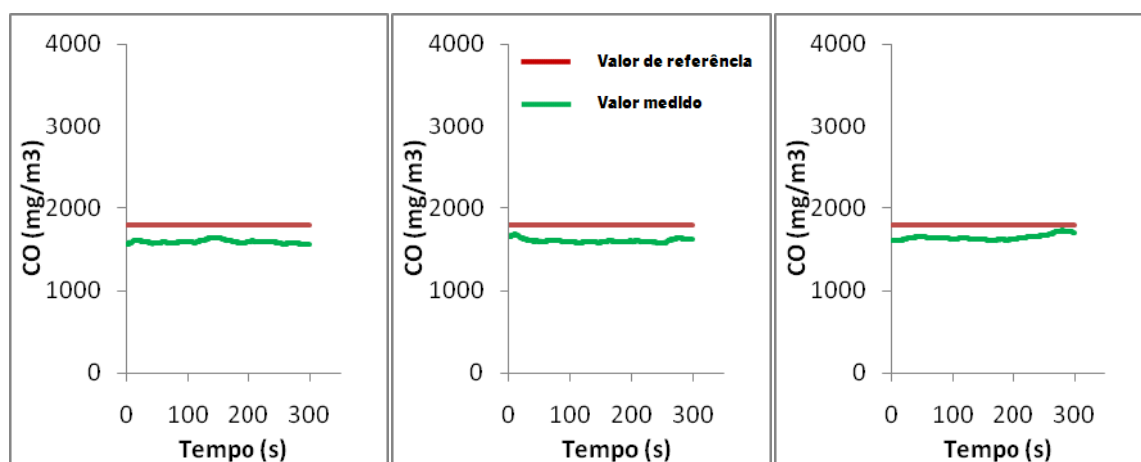


Figura IV.112 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Cozinha 6.1

A ocupação humana, sem a necessária abertura de janelas para ventilação poderá estar na origem destas concentrações. Os processos de combustão que ocorrem na cozinha devido a alguns equipamentos (fogão, esquentador) são outra das possíveis causas da concentração de CO<sub>2</sub> medida.

No Quarto 6.1 foram medidas as concentrações de dióxido de carbono apresentadas na Figura IV.113.

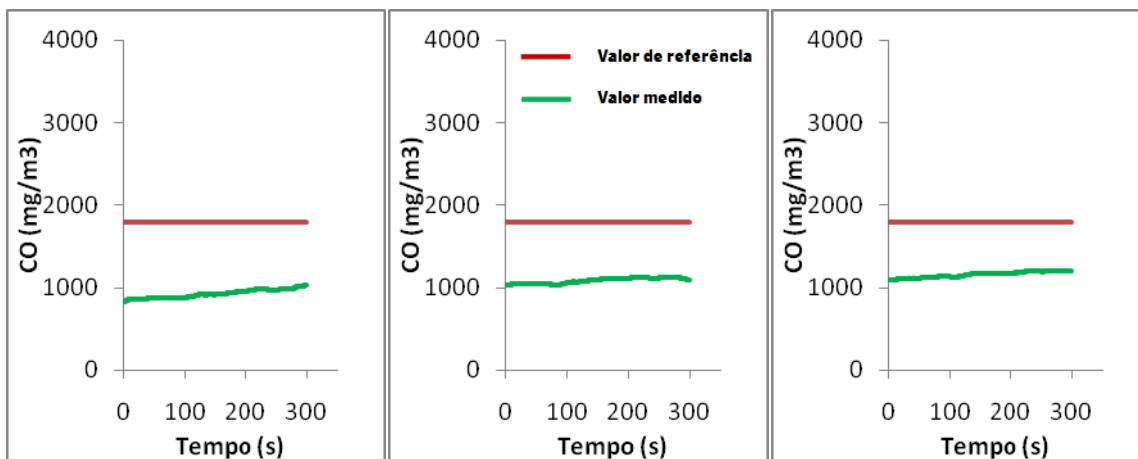


Figura IV.113 – Concentrações de CO<sub>2</sub> no Quarto 6.1

Neste compartimento, as concentrações de CO<sub>2</sub> medidas são inferiores ao limite regulamentar, e poderão ter como origem, uma vez mais a ocupação humana.

As concentrações de dióxido de carbono medidas na Sala 6.1 apresentam-se na Figura IV.114.

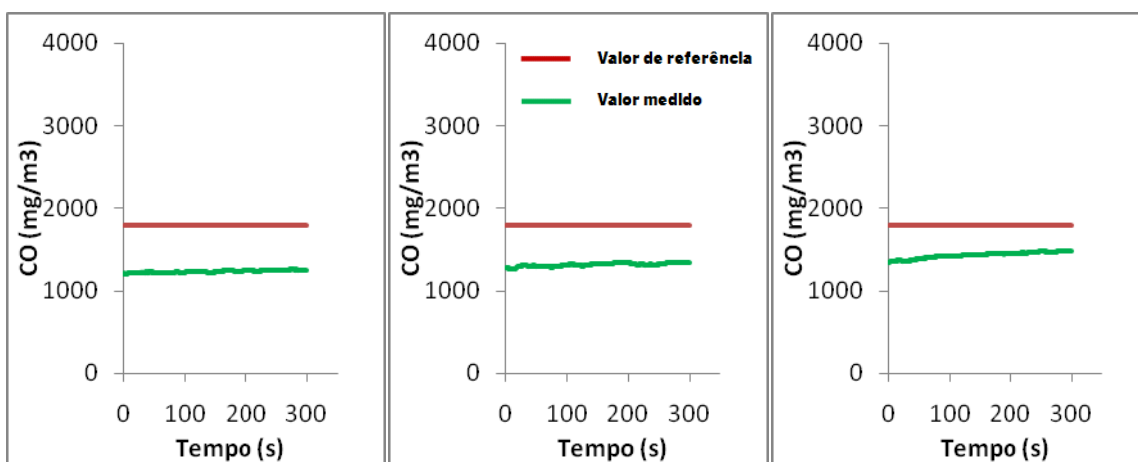


Figura IV.114 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Sala 6.1

Tal como no quarto, as concentrações de CO<sub>2</sub> medidas na Sala 6.1 são inferiores ao máximo recomendado e devem-se aos ocupantes.

### Compostos Orgânicos Voláteis totais (COV<sub>Totais</sub>)

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<sub>Totais</sub>, tal como mostram a Figura IV.115, a Figura IV.116 e a Figura IV.117. A utilização de produtos de limpeza é uma possível causa da existência de COV<sub>Totais</sub> na Habitação 6.1.

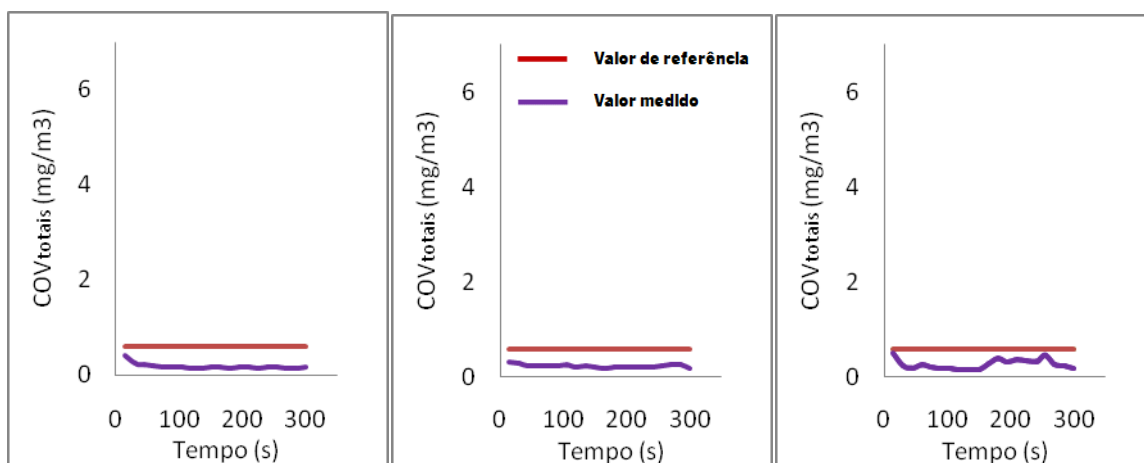


Figura IV.115 - Concentrações de COV<sub>totalis</sub> na Cozinha 6.1

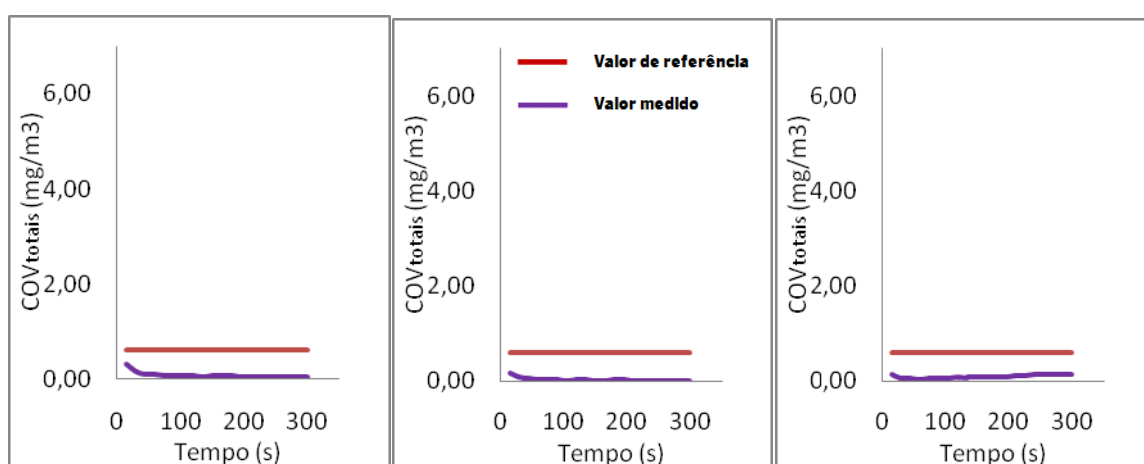


Figura IV.116 - Concentrações de COV<sub>totalis</sub> no Quarto 6.1

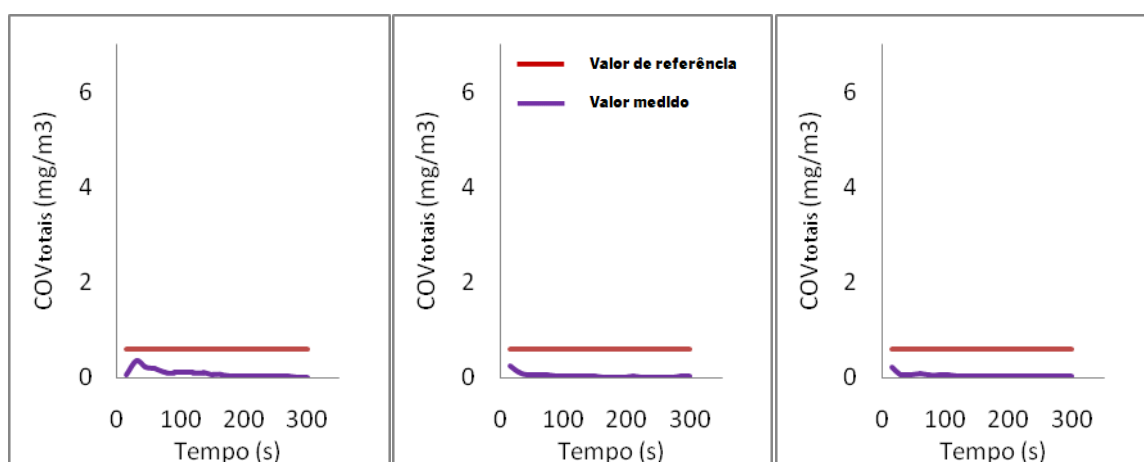


Figura IV.117 - Concentrações de COV<sub>totalis</sub> na Sala 6.1

### Formaldeído (CHOH)

Como pode ser observado através de uma análise da Figura IV.118, da Figura IV.119 e da Figura IV.120 não foi detectada a presença de formaldeído na Habitação 6.1.

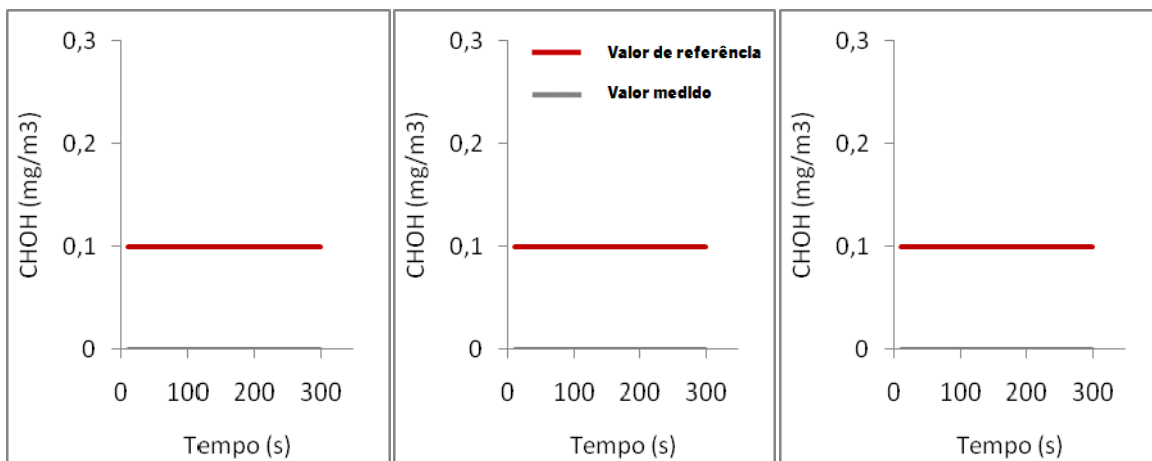


Figura IV.118 - Concentrações de CHOH na Cozinha 6.1

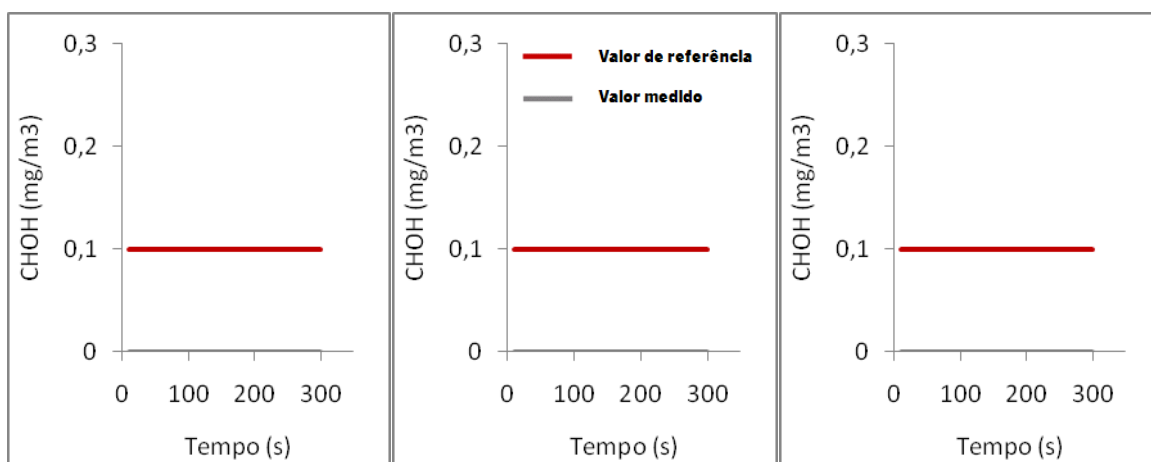


Figura IV.119 - Concentrações de CHOH no Quarto 6.1

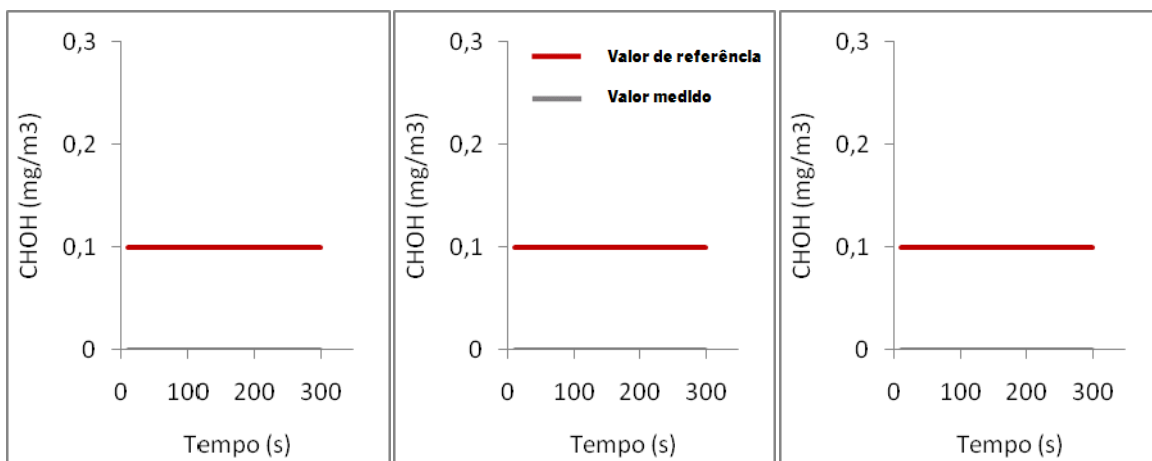


Figura IV.120 - Concentrações de CHOH na Sala 6.1

### Ozono (O<sub>3</sub>)

Nas medições efectuadas na Habitação 6.1 não foi detectada a presença de ozono, tal como mostram os gráficos da Figura IV.121, da Figura IV.122 e da Figura IV.123, respectivamente para a cozinha, quarto e sala.

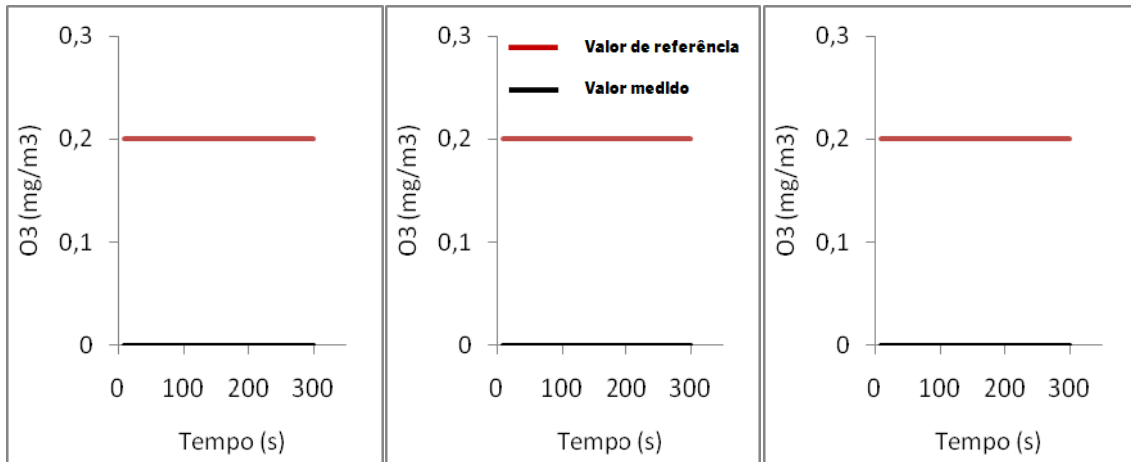


Figura IV.121 - Concentrações de O<sub>3</sub> na Cozinha 6.1

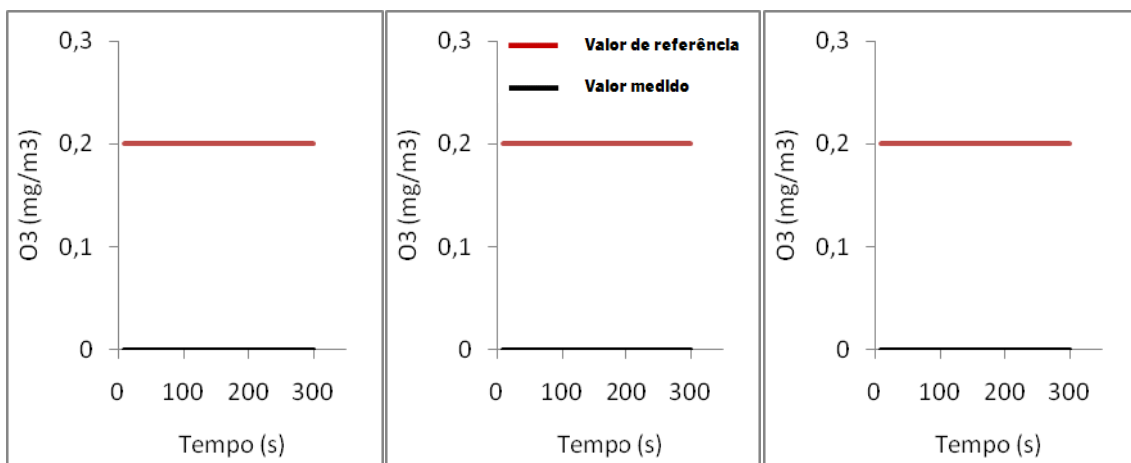


Figura IV.122 - Concentrações de O<sub>3</sub> no Quarto 6.1

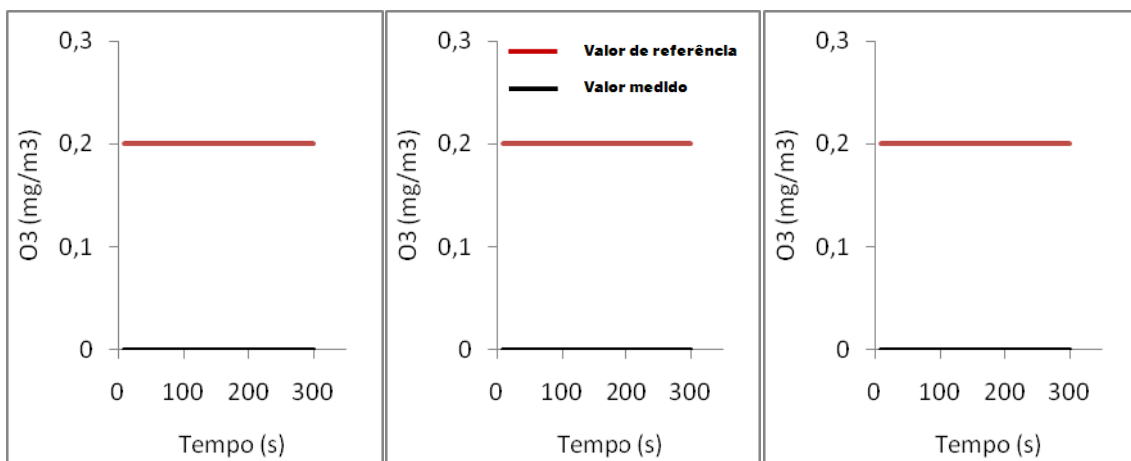


Figura IV.123 - Concentrações de O<sub>3</sub> na Sala 6.1

### Partículas suspensas no ar (PM<sub>10</sub>)

Na cozinha da Habitação 6.1 foram detectadas concentrações elevadas de partículas suspensas, ultrapassando o valor máximo regulamentar em alguns momentos, como se pode observar na Figura IV.124.

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.

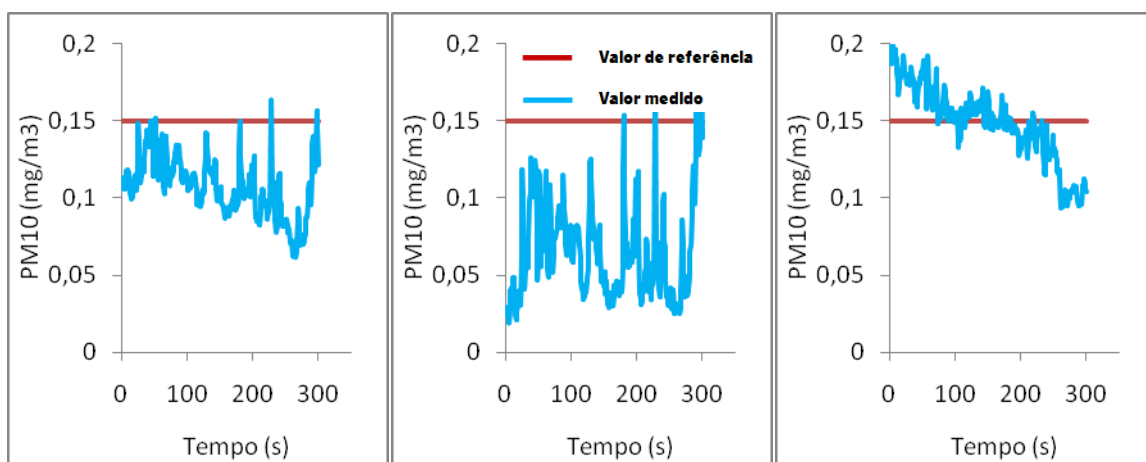


Figura IV.124 – Concentrações de PM<sub>10</sub> na Cozinha 6.1

As concentrações de PM<sub>10</sub> medidas no quarto podem ser observadas na Figura IV.125.

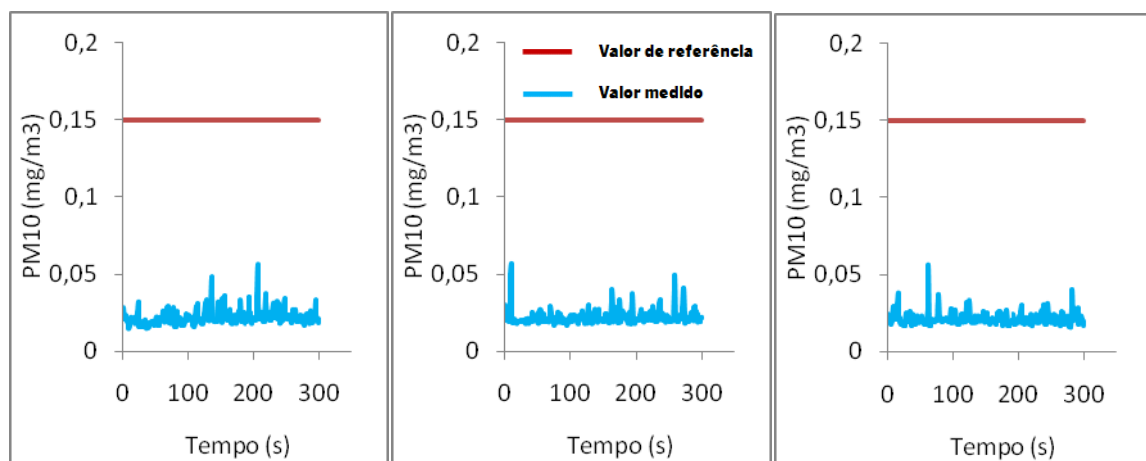


Figura IV.125 – Concentrações de PM<sub>10</sub> no Quarto 6.1

Na Figura IV.126 apresentam-se os resultados obtidos para as concentrações de partículas respiráveis medidas na Sala 6.1.

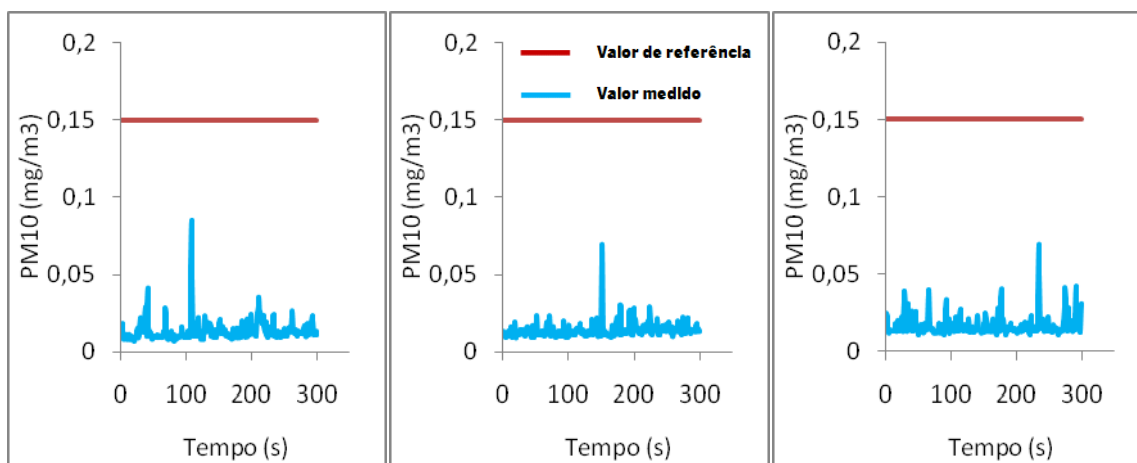


Figura IV.126 – Concentrações de  $PM_{10}$  na Sala 6.1

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.

#### Humidade Relativa /Temperatura

A humidade relativa, medida na Habitação 6.1 era de 36% para a cozinha, 45 % para a sala e 37% para o quarto. A temperatura ambiente rondava os 23°C na cozinha, os 22°C no quarto e os 20°C na sala.

A humidade relativa apresenta valores baixos e a temperatura ambiente é próxima ao valor de referência (20°C).

#### Verificação Regulamentar

Para a Habitação 61 verificou-se que apenas a concentração de partículas suspensas no ar ultrapassa o limite imposto pelo RSECE (0,15  $mg/m^3$ ) na cozinha.

#### Edifício 7 - Habitação 7.1

De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal desta habitação é de 1,10  $h^{-1}$ .

Na Tabela IV.25 apresentam-se as concentrações máximas de poluentes no exterior, obtidas através Agência Portuguesa do Ambiente ([www.qualar.org](http://www.qualar.org)).

Tabela IV.25 – Concentração máxima de poluentes no exterior ([www.qualar.org](http://www.qualar.org))

Parâmetros	Concentração máxima ( $mg/m^3$ )
CO <sub>2</sub>	-
CO	0,751
PM <sub>10</sub>	0,0036

De seguida apresentam-se as concentrações dos poluentes físico-químicos medidos na Habitação 7.1.

#### Monóxido de Carbono (CO)

Como mostram a Figura IV.127, a Figura IV.128 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, tal como mostram os gráficos da Figura IV.129.

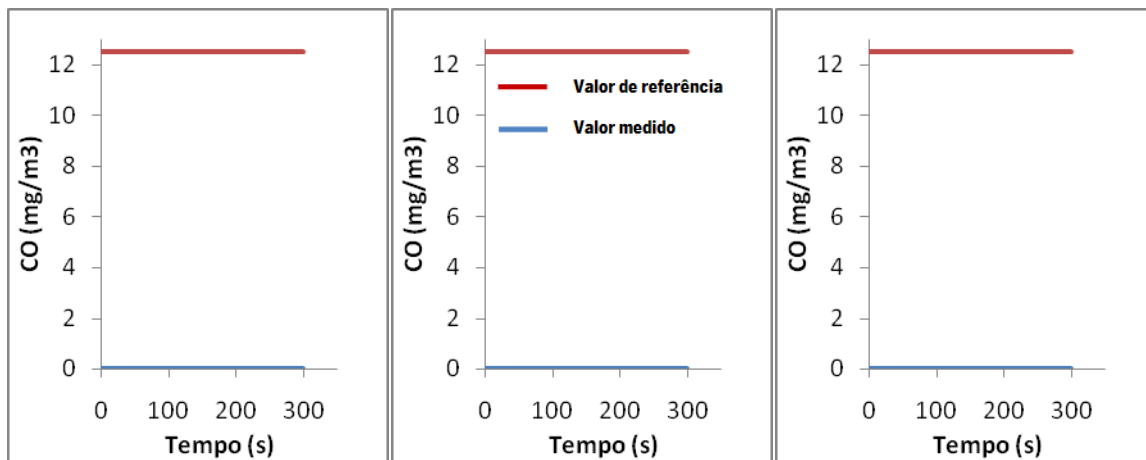


Figura IV.127 - Concentrações de CO na Cozinha 7.1

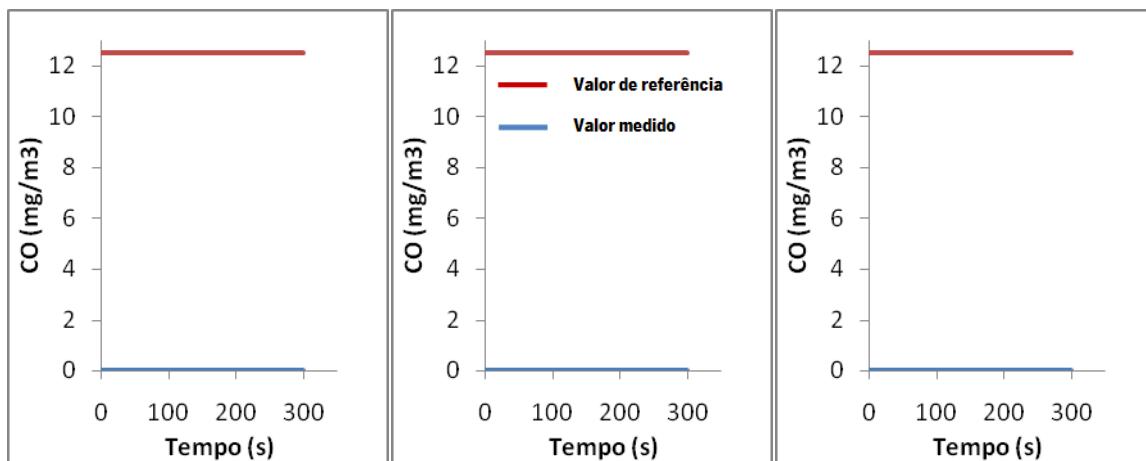


Figura IV.128 - Concentrações de CO no Quarto 7.1

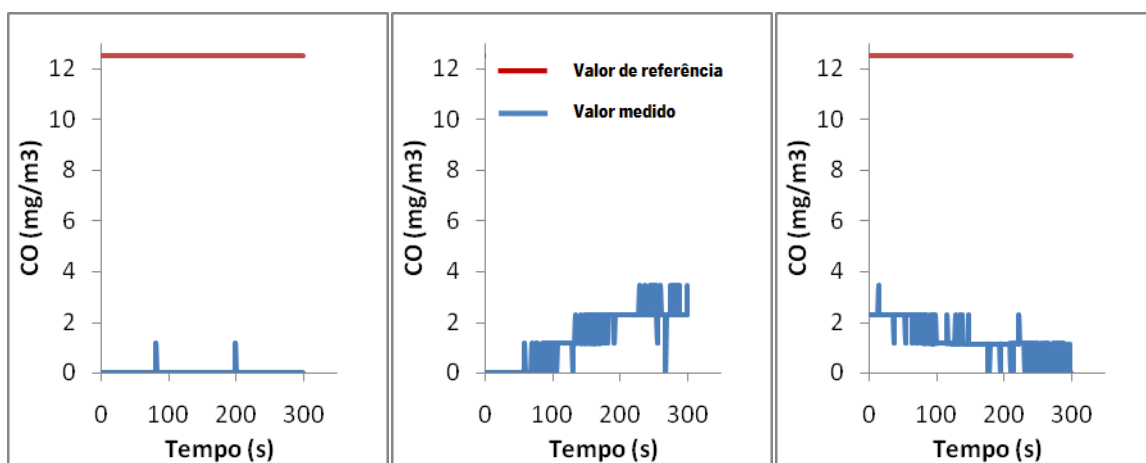


Figura IV.129 - Concentrações de CO na Sala 7.1

Na origem das concentrações de monóxido de carbono medidas neste compartimento poderão estar dois



factores: o facto de os habitantes da habitação fumarem na varanda acoplada a este e a proximidade do edifício a uma estrada muito movimentada.

### Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

As concentrações de dióxido de carbono medidas na Cozinha 7.1 são ligeiramente superiores ao valor máximo recomendado, tal como se pode ver na Figura IV.130.

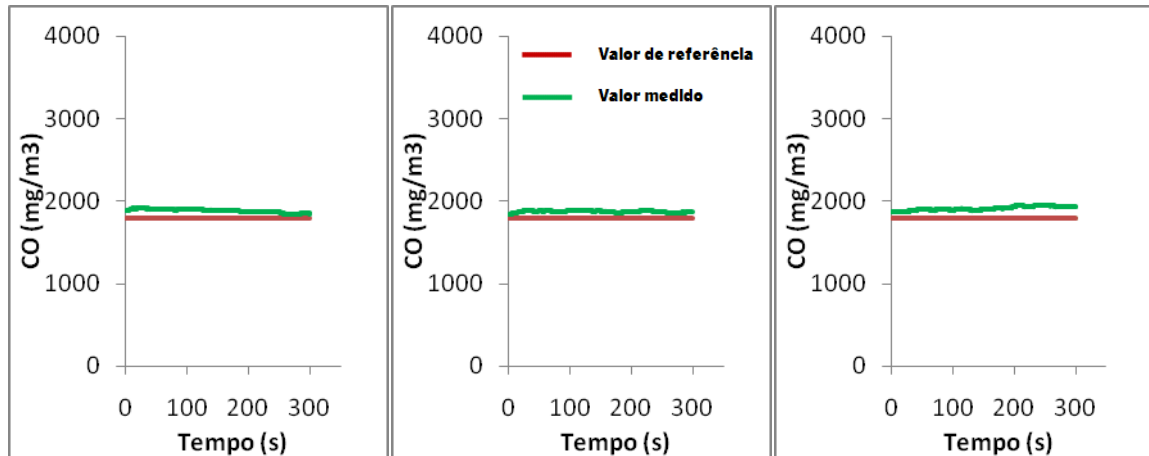


Figura IV.130 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Cozinha 7.1

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 CO<sub>2</sub> medidas.

No quarto e na Sala da Habitação 7.1 as concentrações de CO<sub>2</sub> medidas são inferiores os valor máximo recomendado, tal como mostra a Figura IV.131 e a Figura IV.132.

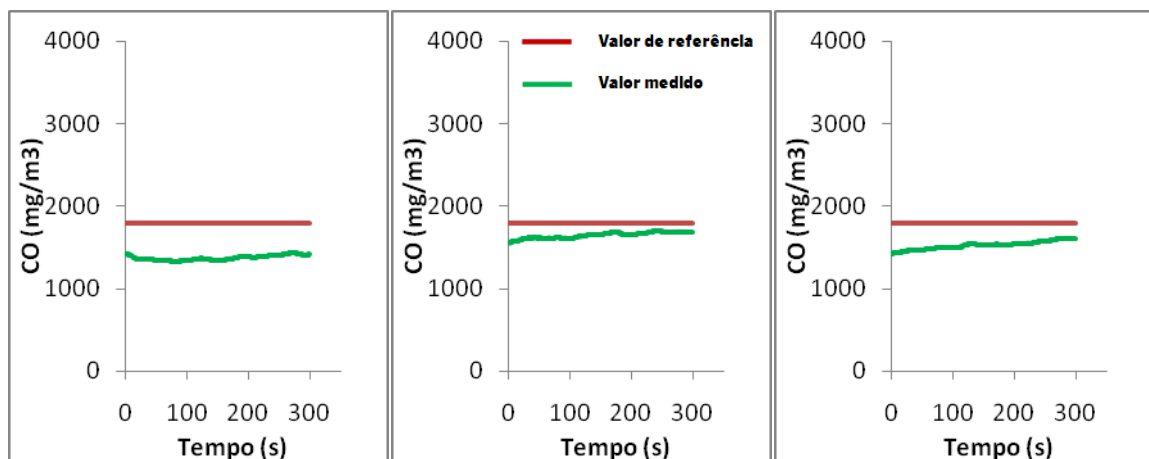


Figura IV.131 – Concentrações de CO<sub>2</sub> no Quarto 7.1

No Quarto 7.1 as possíveis causas para as concentrações medidas poderão ser a ocupação e os poluentes exteriores. Na Sala, há ainda que considerar a contribuição do fumo do tabaco, uma vez que os ocupantes fumam na varanda anexa a este compartimento.

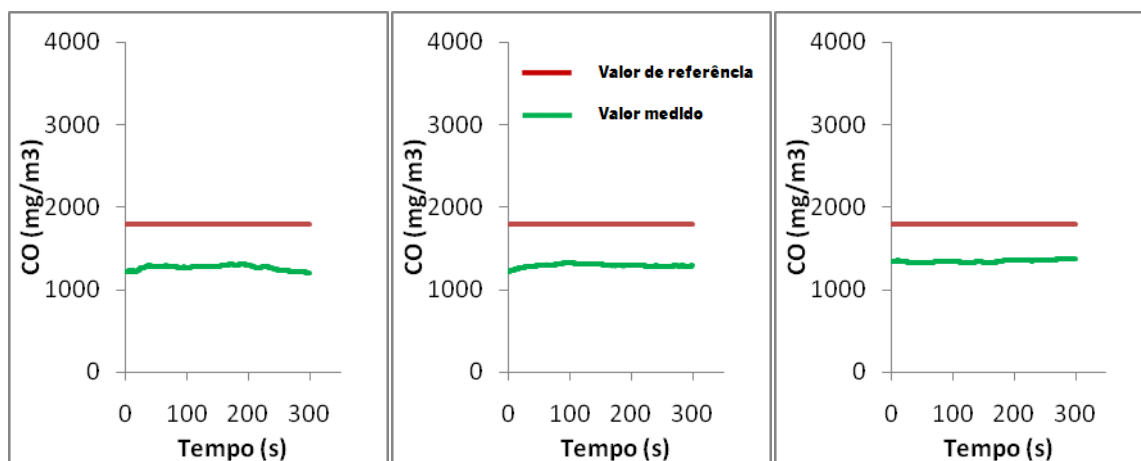


Figura IV.132 – Concentrações de CO<sub>2</sub> na Sala 7.1

### Compostos Orgânicos Voláteis totais (COV<sub>Totais</sub>)

As concentrações de COV<sub>Totais</sub> medidas na cozinha, no quarto e na sala da Habitação 7.1 são apresentadas nos gráficos da Figura IV.133, da Figura IV.134 e da Figura IV.135, respectivamente.

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.

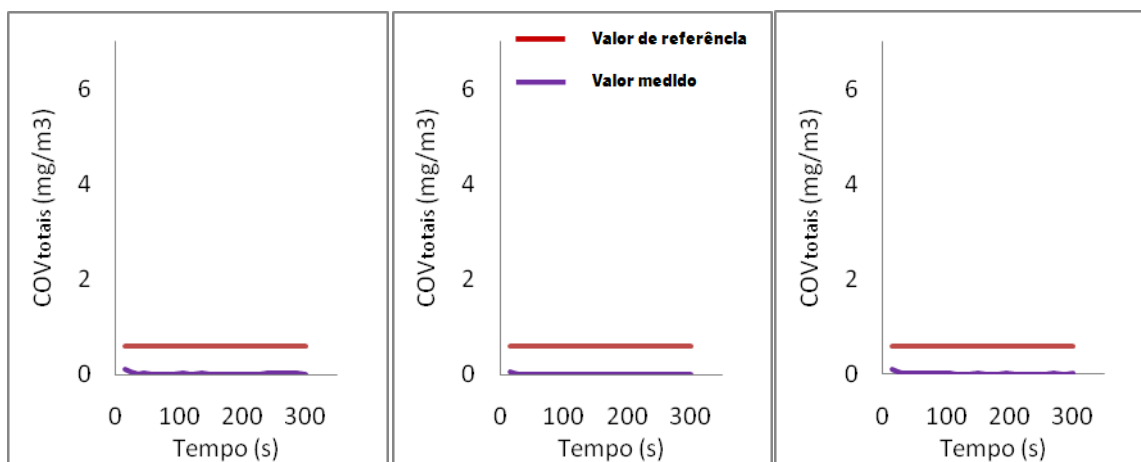


Figura IV.133 – Concentrações de COV<sub>Totais</sub> na Cozinha 7.1

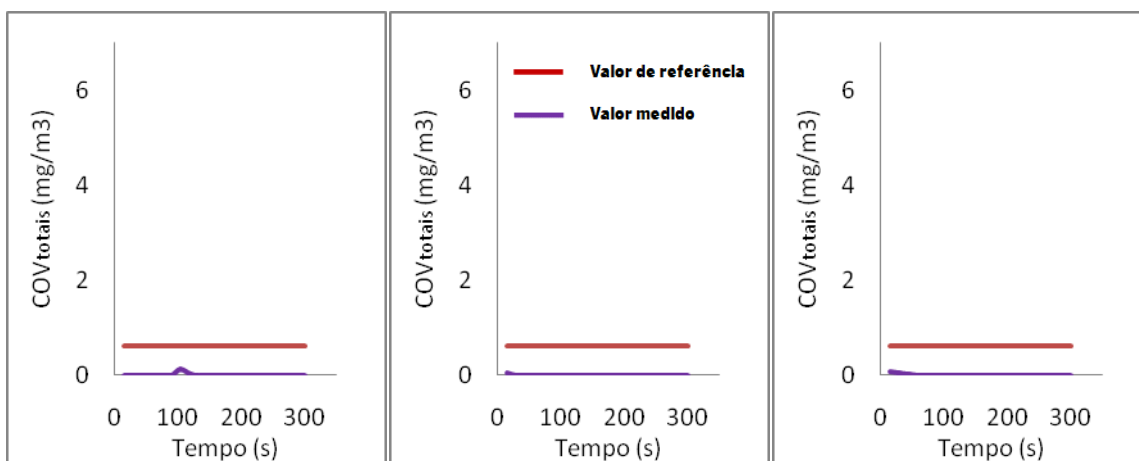


Figura IV.134 - Concentrações de COV<sub>totais</sub> no Quarto 7.1

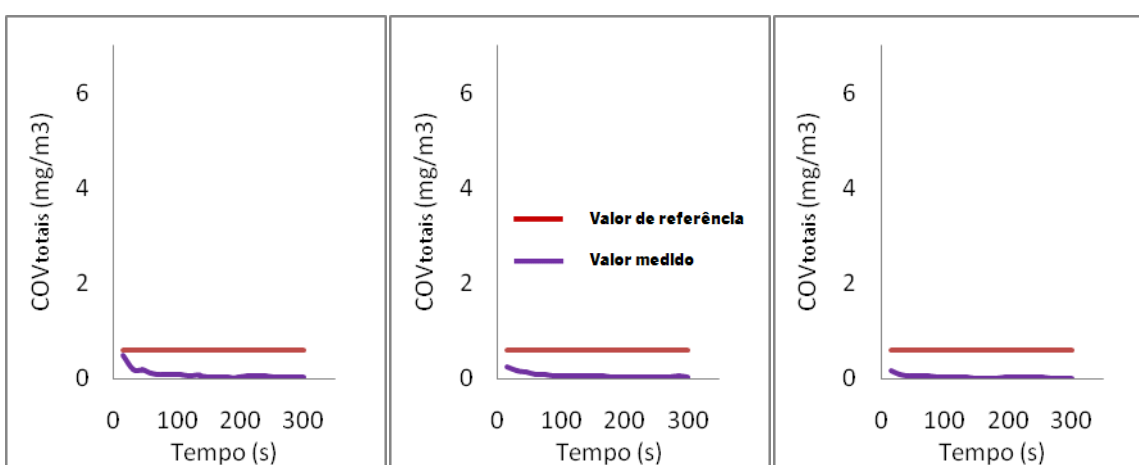


Figura IV.135 - Concentrações de COV<sub>totais</sub> na Sala 7.1

### Formaldeído (CHOH)

Não foi detectada a presença de formaldeído na Habitação 7.1, tal como mostram a Figura IV.136, a Figura IV.137 e a Figura IV.138, para a cozinha, o quarto e a sala, respectivamente.

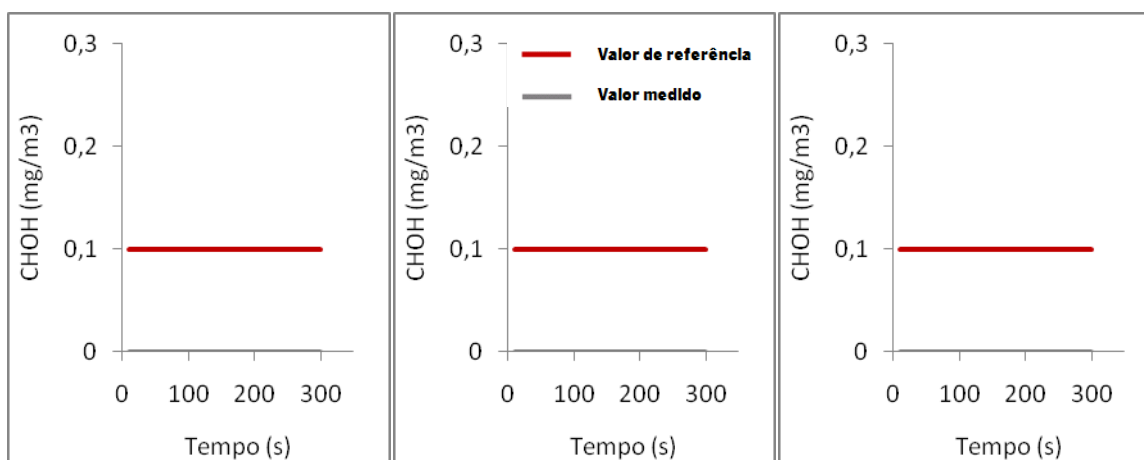


Figura IV.136 - Concentrações de CHOH na Cozinha 7.1

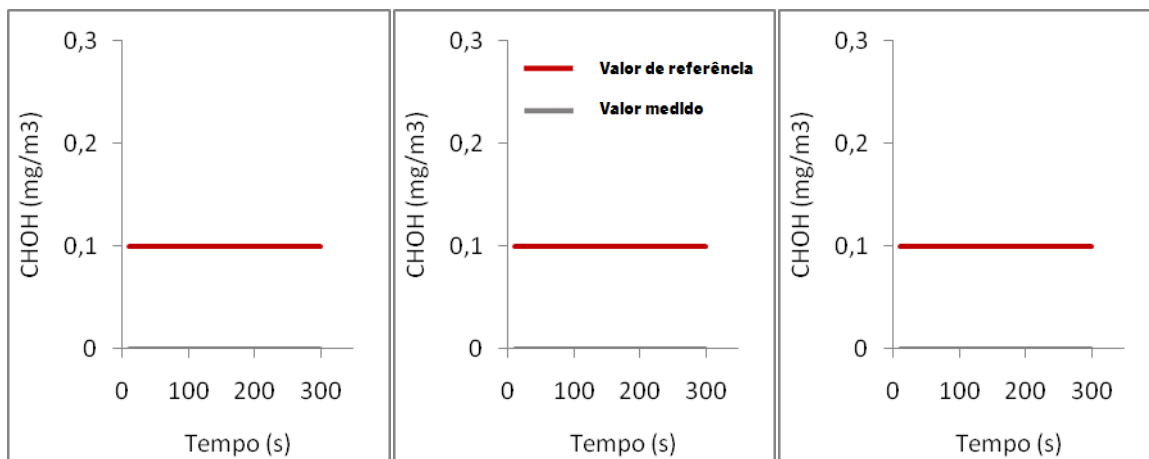


Figura IV.137 - Concentrações de CHOH no Quarto 7.1

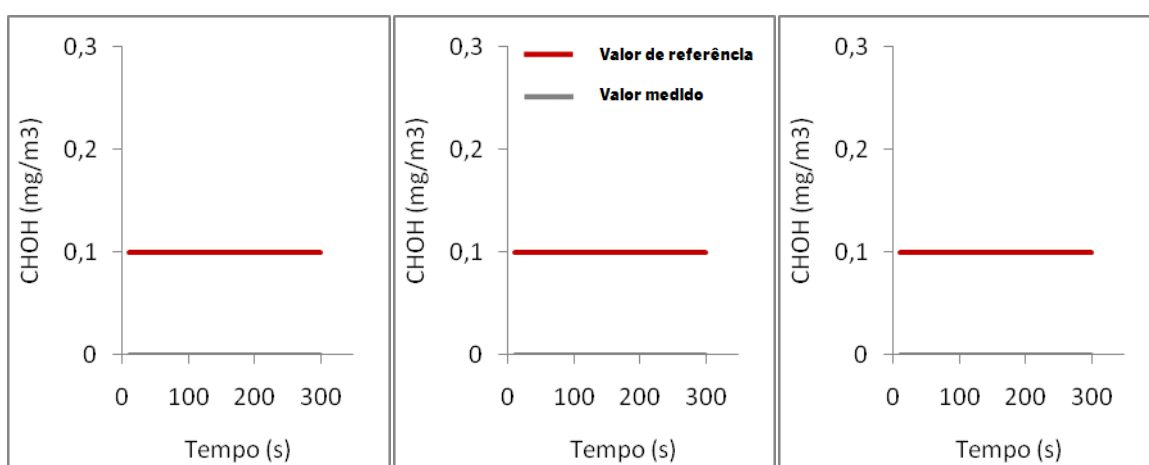


Figura IV.138 - Concentrações de CHOH na Sala 7.1

### Ozono (O<sub>3</sub>)

Na Habitação 7.1 também não foi detectada a presença de ozono, tal como mostram os gráficos da Figura IV.139, da Figura IV.140 e da Figura IV.141.

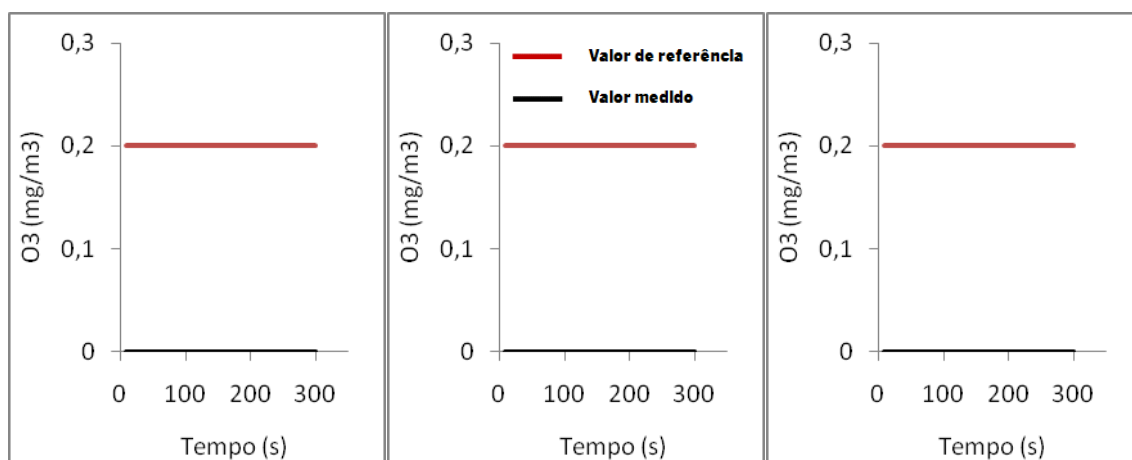
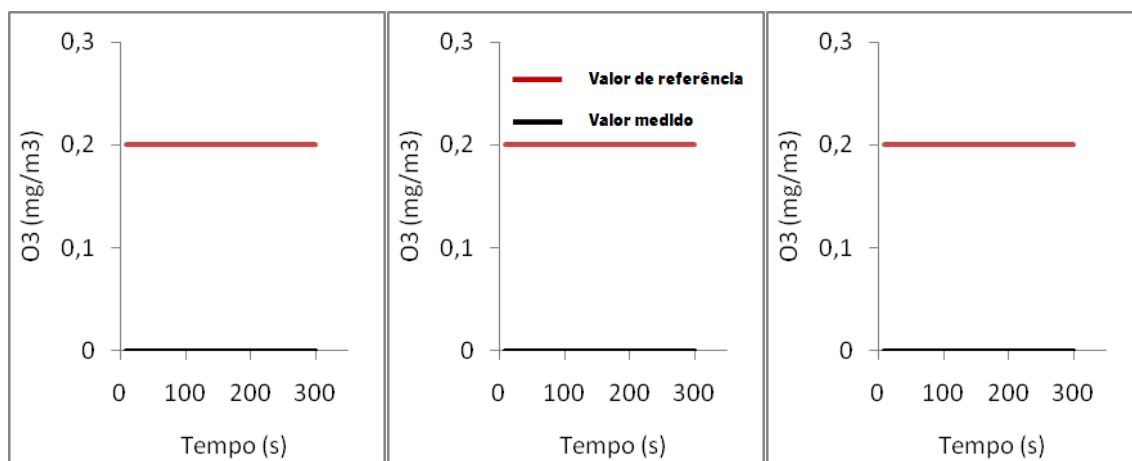
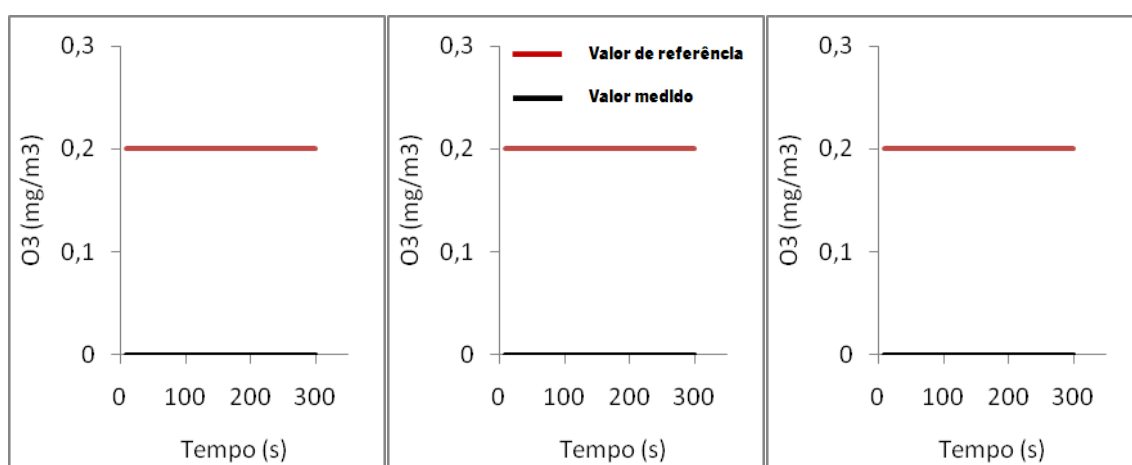


Figura IV.139 - Concentrações de O<sub>3</sub> na Cozinha 7.1

Figura IV.140 – Concentrações de O<sub>3</sub> no Quarto 7.1Figura IV.141 – Concentrações de O<sub>3</sub> na Sala 7.1

### Partículas suspensas no ar (PM<sub>10</sub>)

As concentrações de partículas suspensas no ar medidas na Cozinha 7.1 são apresentadas na Figura IV.142.

A concentração de partículas respiráveis medida na cozinha tem, possivelmente, origem nos processos de combustão devido ao fogão a gás existente, ou num jardim que se encontra próximo à habitação.

As concentrações de PM<sub>10</sub> medidas no Quarto 7.1 são apresentados na Figura IV.143. Na Figura IV.144 mostram-se as concentrações de partículas suspensas no ar medidas na sala.

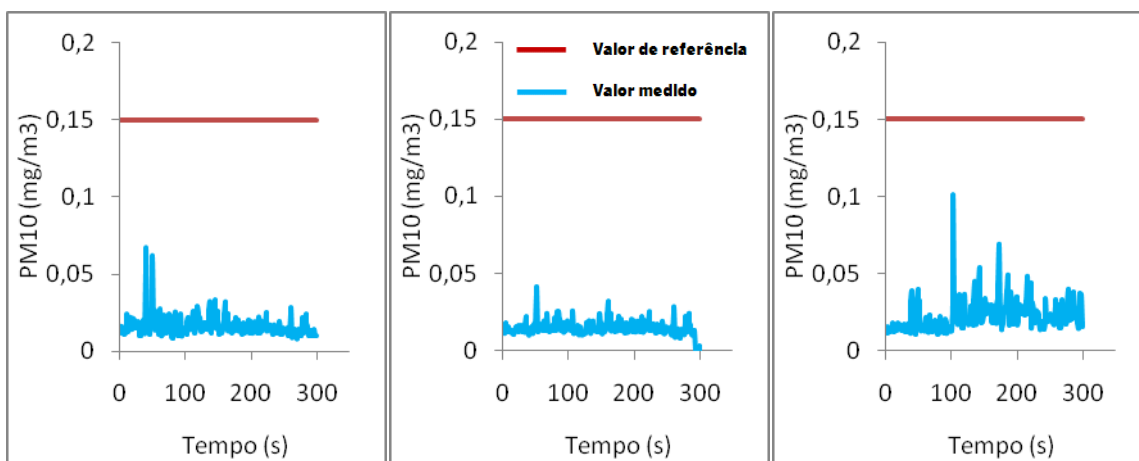


Figura IV.142 – Concentrações de  $PM_{10}$  na Cozinha 7.1

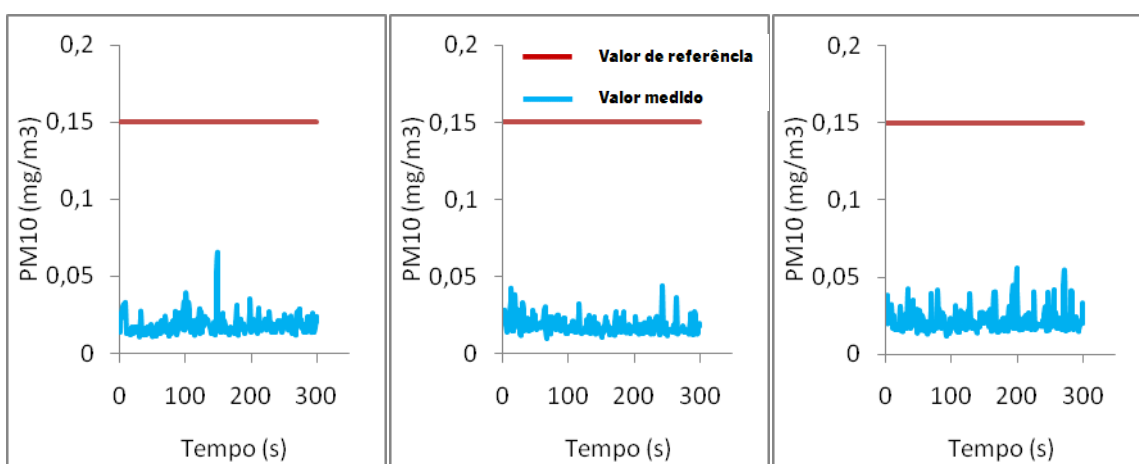


Figura IV.143 – Concentrações de  $PM_{10}$  no Quarto 7.1

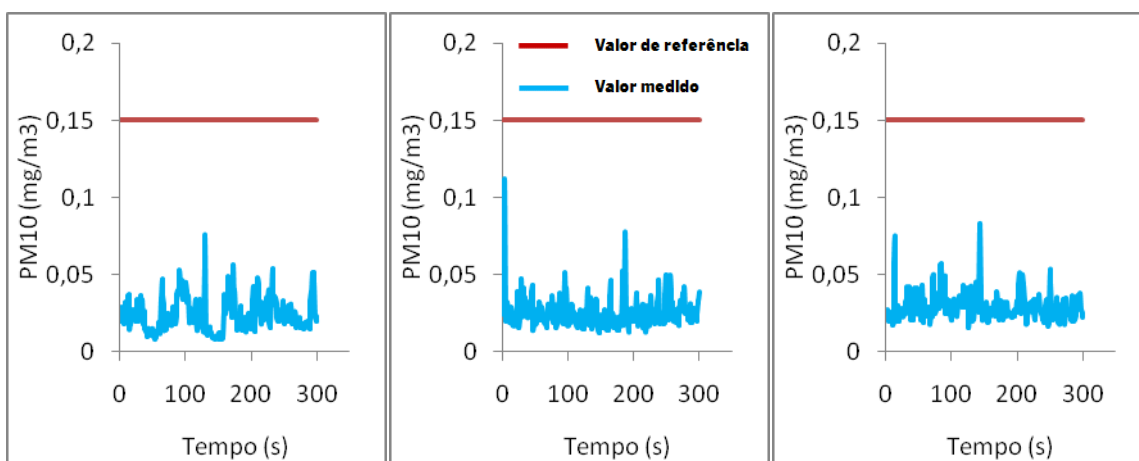


Figura IV.144 – Concentrações de  $PM_{10}$  na Sala 7.1

No quarto e na sala da Habitação 7.1 a existência de vários materiais têxteis (carpetes, tapetes e peluches), podem ser as possíveis causas das concentrações de  $PM_{10}$  medidas.

### Humidade Relativa /Temperatura

A temperatura ambiente e a humidade relativa medidas na Habitação 7.1 encontravam-se dentro dos intervalos de referência:

Cozinha: Humidade Relativa = 51 %; Temperatura = 20°C

Quarto: Humidade Relativa = 41 %; Temperatura = 20°C

Sala: Humidade Relativa = 46 %; Temperatura = 21°C

### Verificação Regulamentar

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.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação do comportamento lumínico realizada.

## IV.3. Avaliação do Comportamento Lumínico

A avaliação da qualidade lumínica dos edifícios, que é subjectiva e depende da herança pessoal, socioeconómica e cultural dos ocupantes, pode ser baseada em critérios em critérios físicos mesuráveis, descritos na literatura especializada e nas normas internacionais.

A avaliação do desempenho lumínico de um edifício pode ser realizada através de medições in situ dos valores da luminância e da iluminância, que permite ainda determinar o Factor de Luz do Dia.

### IV.3.1. Critérios de Desempenho Lumínico

Os critérios de desempenho lumínico não são definidos na regulamentação nacional, existindo recomendações a nível de edifícios de serviços, escolas, bibliotecas. A nível internacional a Comissão Internacional de Iluminação, CIE (acrónimo do Francês, Commission Internationale de l'Éclairage) define para diversos tipos de edifícios os níveis de iluminação recomendados, ao nível da iluminância, Factor de Luz do Dia, reflectância e quocientes de luminâncias (CIE 29, 1975; Goulding, 1992; CEC, 1993).

A norma EN 12464-1 define também os níveis de iluminação para locais de trabalho, bem como a norma EN 15251, relativa à qualidade do ambiente interior, IEQ, define as condições de iluminação para a obtenção de conforto (EN 12464-1, 2002; EN 15251, 2007).

### IV.3.2. Avaliação do comportamento lumínico in situ

#### Metodologia

A metodologia utilizada para a determinação do FLD envolve a utilização de dois sensores de iluminâncias, um situado no interior do compartimento (no plano de trabalho), e o outro, colocado no exterior, num plano horizontal não obstruído. Devido à dificuldade de acesso a superfícies horizontais não obstruídas, em geral a cobertura, e o comprimento do cabo de ligação dos sensores ao multiplexador ou data-logger foi necessário realizar a medição da iluminância no exterior num plano vertical próximo do envidraçado do compartimento em estudo.

Assim o sensor de iluminâncias exterior foi colocado verticalmente na face exterior e no centro geométrico do vão envidraçado. A luz reflectida pelo solo foi obstruída através de um ecrã obstrutor de cor negra mate e de dimensões pelo menos 10 vezes superiores às da célula fotossensível (Figura IV.145).

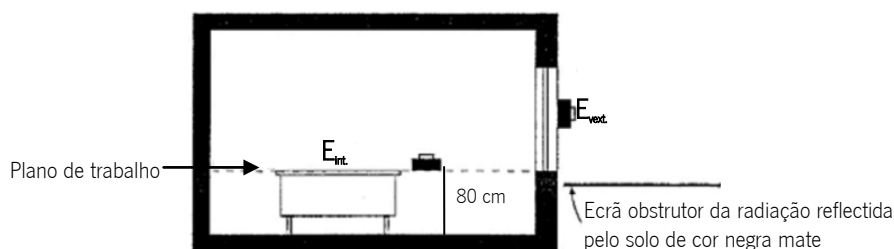


Figura IV.145 - Método de medição do FLD

As medições da iluminância interior ( $E_{ext.}$ ) e exterior ( $E_{int.}$ ) foram efectuadas em simultâneo. Assim, o FLD será dado pela Equação (IV.3) (Santos, 2001):

$$FLD(\%) = \left[ \frac{E_{int.}}{E_{Vext.}} \times 0.396 \right] \times 100 \quad \text{Equação (IV.3)}$$

Em que:

- $E_{int.}$  Iluminância interior num ponto de um plano no interior de um compartimento, em geral o plano de trabalho (lux);
- $E_{ext.}$  Iluminância exterior simultânea, devida a um hemisfério de céu encoberto (lux).

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação das condições lumínicas in situ realizadas.

### Avaliação do nível de Iluminância e do Factor de Luz do Dia

A medição do nível de iluminância e a avaliação do factor de Luz do Dia foi efectuada em salas, quartos e cozinhas de diferentes habitações, de diferentes épocas, tipologias, localização e orientação. A selecção dos compartimentos foi efectuada de forma a caracterizar diversas tipologias e também no que se refere ao número e dimensão dos vãos envidraçados.

#### *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.

Os compartimentos estudados foram a sala comum, a cozinha e o quarto (Figura IV.146).



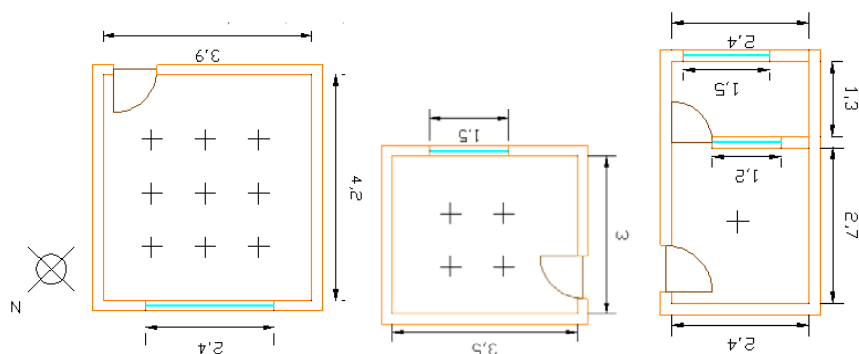


Figura IV.146 – Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 2.1, com indicação da malha de medição do FLD

### Sala 2.1

Na Tabela IV.26 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 2.1, Habitação 2.1, orientada a NW, em condições de iluminação natural, iluminância e Factor de Luz do Dia, FLD. Os valores de FLD da Sala 2.1 estão representados na malha da Figura IV.147.

Tabela IV.26 – Iluminância e FLD obtidos para a Sala 2.1 em condições de iluminação natural

Posição	Iluminância (lux)				FLD (%)		
	Exterior	Esquerda	Centro	Direita	Esquerda	Centro	Direita
1ª Fila	3277,0	94,6	138,9	130,5	2,89	4,24	3,98
2ª Fila	3277,0	243,3	353,8	391,8	7,42	10,80	11,96
3ª Fila	3277,0	343,6	388,6	436,0	10,49	11,86	13,30

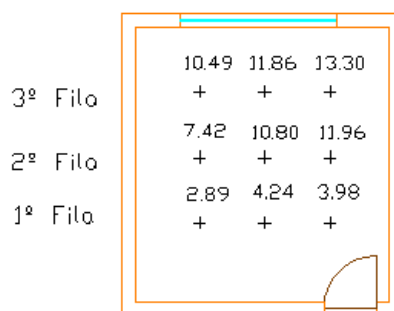


Figura IV.147 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para a Sala 2.1, Habitação 2.1

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 Tabela IV.27 apresentam-se os valores das iluminâncias para o quarto da Habitação 2 (Quarto 2.1) e os respectivos valores de FLD calculados. Na Figura IV.148 está representada a malha de medição e os valores de FLD medidos.

Tabela IV.27 – Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 2.1

Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
	Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
1ª Fila	1680,0	6,9	8,1	0,41	0,48
2ª Fila	1680,0	6,2	8,0	0,37	0,48

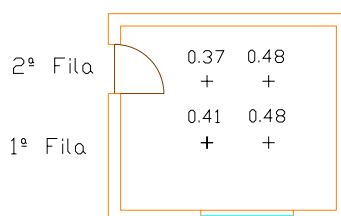


Figura IV.148 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 2.1

Pode-se concluir que estes valores (Figura IV.148) são inferiores aos recomendados (0,5% a 3/4 do comprimento do compartimento).

### Cozinha 2.1

Na Tabela IV.28 apresentam-se os valores das iluminâncias para a Cozinha 2.1 e os respectivos valores do FLD calculados. Na Figura IV.149 está representada a malha de medição e o valor de FLD medido.

Tabela IV.28 – Valores de iluminâncias obtidos com iluminação natural e FLD para a Cozinha 2.1

Iluminância (lux)		FLD (%)
Exterior	Centro	Centro
883,0	2,3	0.26

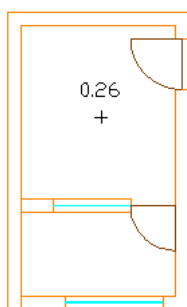


Figura IV.149 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 2.1

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.

Os compartimentos estudados foram a sala comum, a cozinha e um quarto (Figura IV.150).

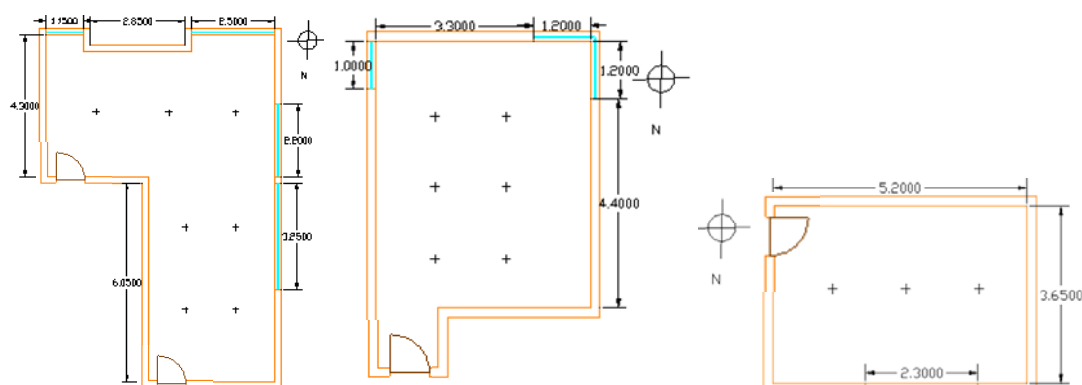


Figura IV.150 – Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 3, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD

### Sala 3

Na Tabela IV.29 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 3, Habitação 3, orientada a Sul, em condições de iluminação natural, iluminância e Factor de Luz do Dia, FLD. Os valores de FLD da Sala 3 estão representados na malha da Figura IV.151.

Tabela IV.29 – Iluminância e FLD obtidos para a Sala 3 em condições de iluminação natural

Zona	Posição	Iluminância (lux)				FLD (%)		
		Exterior	Esquerda	Centro	Direita	Esquerda	Centro	Direita
Sala de jantar	1ª Fila	6203,5	-	433,6	258,0	-	6,99	4,16
	2ª Fila	6203,5	-	468,2	291,2	-	7,55	4,69
Sala de estar	3ª Fila	6150,0	147,2	294,3	602,5	2,39	4,79	9,80

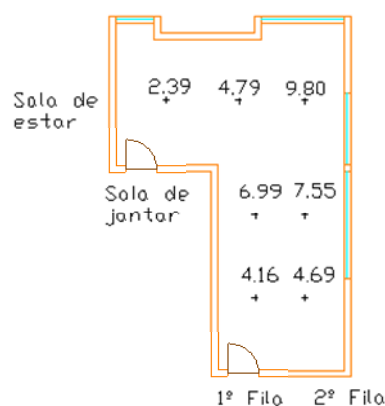


Figura IV.151 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 3, Habitação 3

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 Tabela IV.30 apresentam-se os valores das iluminâncias para o quarto da Habitação 3 (Quarto 3) e os respectivos valores de FLD calculados. Na Figura IV.152 está representada a malha de medição e os valores de FLD medidos.

Tabela IV.30 – Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 3

Posição	Exterior	Iluminância (lux)			FLD (%)		
		Esquerda	Centro	Direita	Esquerda	Centro	Direita
1ª Fila	6182,5	1997,0	603,3	197,4	32,30	9,76	3,19
2ª Fila	6182,5	771,0	512,3	260,3	12,47	8,29	4,21

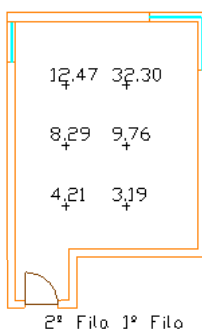


Figura IV.152 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 3

Pode-se concluir que estes valores (Tabela IV.30) são superiores aos recomendados (0,5% a ¾ do comprimento do compartimento).

### Cozinha 3

Na Tabela IV.31 apresentam-se os valores das iluminâncias para a Cozinha 3 e os respectivos valores do FLD calculados. Na Figura IV.153 está representada a malha de medição, com os valores respectivos.

Tabela IV.31 – Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 3

Exterior	Iluminância (lux)			FLD (%)		
	Esquerda	Centro	Direita	Esquerda	Centro	Direita
6098	261,9	340,3	123,2	4,29	5,58	2,02

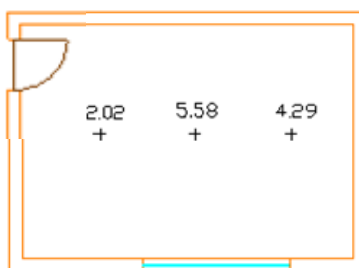


Figura IV.153 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 3

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

Os compartimentos estudados da Habitação 4 foram a sala comum, a cozinha e um quarto (Figura IV.154). As medições foram realizadas no dia 14 de Abril, com céu limpo.

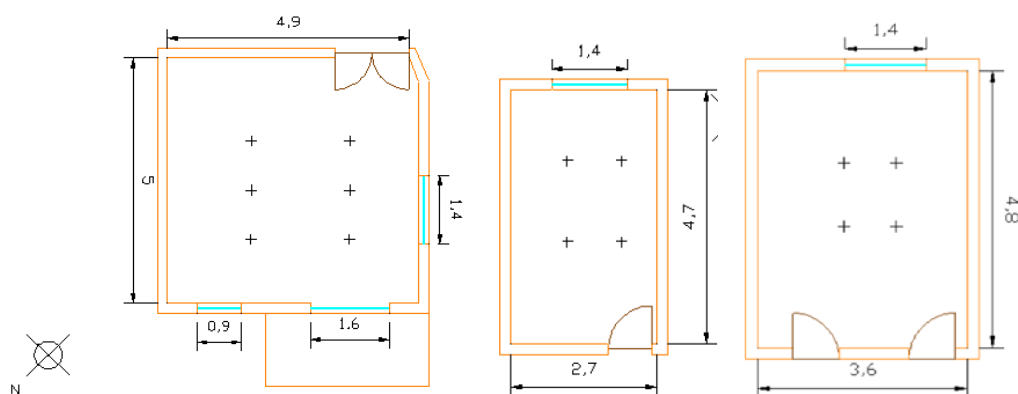


Figura IV.154 - Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 4, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD

#### Sala 4

Na Tabela IV.32 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 4, Habitação 4, orientada a Noroeste, em condições de iluminação natural, iluminância e Factor de Luz do Dia, FLD.

Tabela IV.32 - Iluminância e FLD obtidos para a Sala 4 em condições de iluminação natural

Compartimento	Posição	Iluminância (lux)				FLD (%)		
		Exterior	Esquerda	Centro	Direita	Esquerda	Centro	Direita
Sala comum	1ª Fila	6485,0	11,6	15,9	37,2	0,18	0,25	0,57
	2ª Fila	6485,0	18,2	55,9	56,4	0,28	0,86	0,87

Os valores de FLD da Sala 4 estão representados na malha da Figura IV.155.

Da análise da Tabela IV.32 e da Figura IV.155 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.

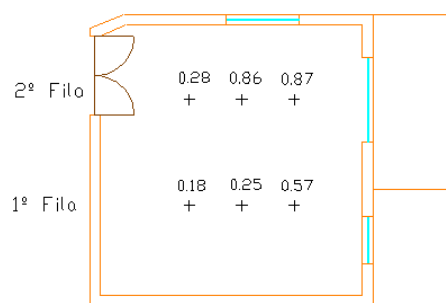


Figura IV.155 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 4, Habitação 4

#### Quarto 4

Na Tabela IV.33 apresentam-se os valores das iluminâncias para o quarto da Habitação 4 (Quarto 4) e os respectivos valores de FLD calculados. Na Figura IV.156 está representada a malha de medição e os valores de FLD medidos. Pode-se concluir que estes valores (Tabela IV.30) são superiores aos recomendados.

Tabela IV.33 – Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 4

Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
	Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
1ª Fila	10937,5	739,0	449,6	6,76	4,11
2ª Fila	10937,5	169,9	111,3	1,55	1,02

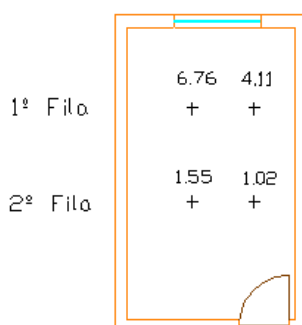


Figura IV.156 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 4

#### Cozinha 4

Na Tabela IV.34 apresentam-se os valores das iluminâncias para a Cozinha 4 e os respectivos valores do FLD calculados. Na Figura IV.157 está representada a malha de medição, com os valores de FLD respectivos.

Tabela IV.34 – Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 4

Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
	Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
1ª Fila	12132,5	118,9	140,1	0,98	1,15
2ª Fila	12132,5	35,5	79,0	0,29	0,65

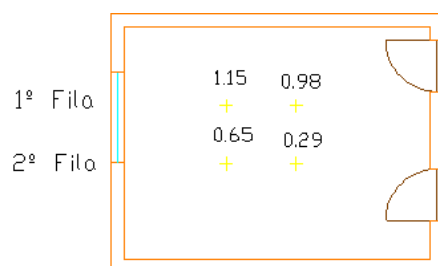


Figura IV.157 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 4

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.

Os compartimentos da Habitação 5.1 estudados foram a sala comum, a cozinha e um quarto (Figura IV.158). As medições foram realizadas no dia 17 de Abril, com céu intermédio.

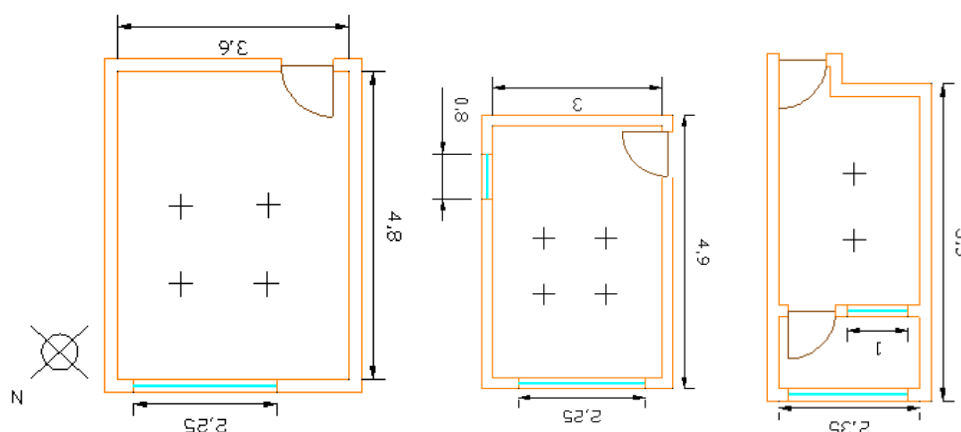


Figura IV.158 – Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 5.1, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD

### Sala 5.1

Na Tabela IV.35 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na sala da Habitação 5.1, orientada a Noroeste, em condições de iluminação natural, para a iluminância e para o Factor de Luz do Dia, FLD. Os valores de FLD da Sala 5.1 estão também representados na malha da Figura IV.159.

Tabela IV.35 – Iluminância e FLD obtidos para a Sala 5.1 em condições de iluminação natural

Compartimento	Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
		Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
Sala comum	1ª Fila	1800	9,1	11,2	0,51	0,62
	2ª Fila	1800	7,1	8,2	0,39	0,46

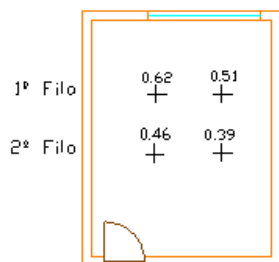


Figura IV.159 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 5.1, Habitação 5.1

Da análise da Figura IV.159 e da Tabela IV.35 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 Tabela IV.36 apresentam-se os valores das iluminâncias para o quarto da Habitação 5.1 (Quarto 5.1) e os respectivos valores de FLD calculados. Na Figura IV.160 está representada a malha de medição.

Tabela IV.36 – Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 4

Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
	Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
1ª Fila	4443,0	96,3	69,9	2,17	1,57
2ª Fila	4443,0	44,4	33,3	1,00	0,75

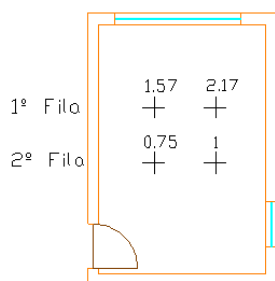


Figura IV.160 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 5.1

Pode-se concluir (Tabela IV.36 e Figura IV.160) 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 Tabela IV.37 apresentam-se os valores das iluminâncias para a Cozinha 5.1 e os respectivos valores do FLD calculados. Na Figura IV.161 está representada a malha de medição e os valores de FLD respectivos.

Tabela IV.37 – Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 5.1



Compartimento	Iluminância (lux)		FLD (%)
	Exterior	Centro	
Cozinha 5.1			Centro
1ª Fila	7012,0	66,1	0,94
2ª Fila	7012,0	21,6	0,31

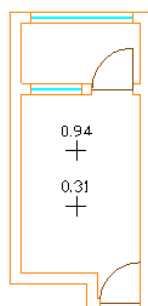


Figura IV.161 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 5.1

O valor de FLD é inferior ao recomendado (2% a 1/2 do compartimento). A existência da lavanderia 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.

Os compartimentos da Habitação 6.1 estudados foram a sala comum, a cozinha e um quarto (Figura IV.158).

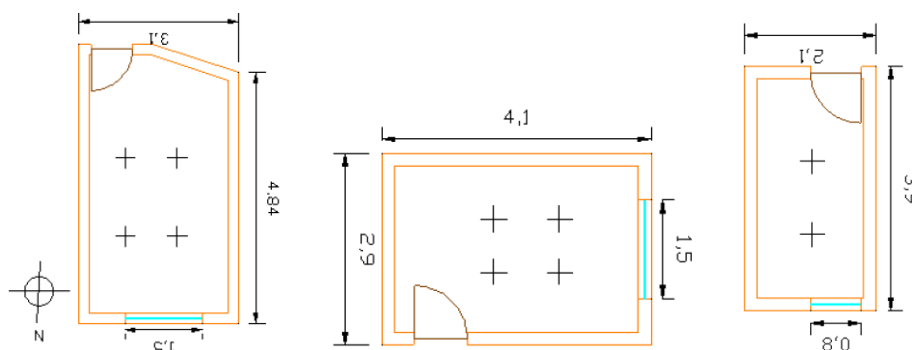


Figura IV.162 – Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 6.1, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD

### Sala 6.1

Na Tabela IV.38 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 6.1, orientada a Norte, em condições de iluminação natural, iluminância e Factor de Luz do Dia, FLD.

Tabela IV.38 – Iluminância e FLD obtidos para a Sala 6.1 em condições de iluminação natural

Compartimento	Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
		Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
Sala comum	1ª Fila	4159,0	210,2	190,3	5,05	4,58
	2ª Fila	4159,0	94,3	51,6	2,27	1,24

Os valores de FLD da Sala 6.1 estão representados na malha da Figura IV.163.

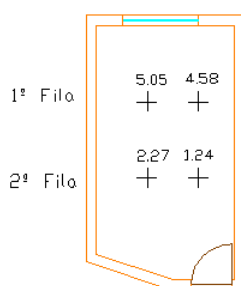


Figura IV.163 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 6.1

Da análise da Figura IV.163 e da Tabela IV.38 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 Tabela IV.39 apresentam-se os valores das iluminâncias para o quarto da Habitação 6.1 (Quarto 6.1) e os respectivos valores de FLD calculados. Na Figura IV.164 está representada a malha de medição e os valores do Factor de Luz do Dia medido.

Tabela IV.39 – Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 6.1

Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
	Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
1ª Fila	3968,0	271,6	372,1	6,85	9,38
2ª Fila	3968,0	79,2	117,4	2,00	2,96

Pode-se concluir que estes valores (Tabela IV.30) são superiores aos recomendados.

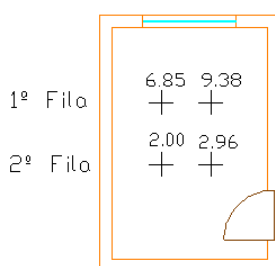


Figura IV.164 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 6.1

Analisando os valores disponíveis na malha da Figura IV.164 e os valores da iluminância da Tabela IV.39, conclui-se que o FLD são superiores ao recomendado e a iluminância respeita os valores recomendados apenas junto ao envidraçado.

### Cozinha 6.1

Na Tabela IV.40 apresentam-se os valores das iluminâncias para a Cozinha 6.1 e os respectivos valores do FLD calculados. Na Figura IV.165 está representada a malha de medição, com os valores de FLD respectivos.

Tabela IV.40 – Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 6.1

Iluminância (lux)		FLD (%)
Exterior	Centro	Centro
4009,0	140,0	3,49
4009,0	59,8	1,49

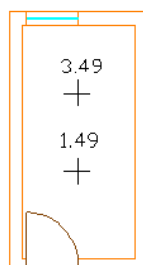


Figura IV.165 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 6.1

Na cozinha o valor de FLD é superior ao recomendado para este compartimento, mas a iluminância é muito inferior ao valor recomendado (200 Lux).

### Edifício 7 - Habitação 7.1

As medições na Habitação 7.1 foram realizadas no dia 5 de Maio, com céu limpo.

Os compartimentos da Habitação 7.1 estudados foram a sala comum, a cozinha e um quarto (Figura IV.166).

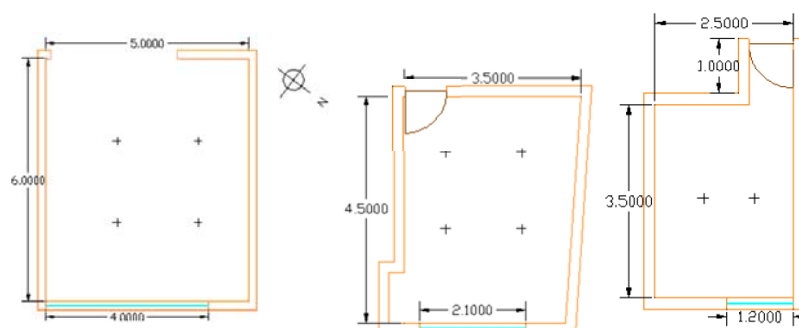


Figura IV.166 – Planta dos compartimentos estudados (sala, quarto e cozinha) da Habitação 7.1, com indicação da malha de medição da iluminância e do FLD

### Sala 7.1

Na Tabela IV.41 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala 7.1, orientada a Nordeste, em condições de iluminação natural, iluminância e Factor de Luz do Dia, FLD.

Tabela IV.41 – Iluminância e FLD obtidos para a Sala 7.1 em condições de iluminação natural

Compartimento	Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
		Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
Sala comum	1ª Fila	3761,0	138,0	122,0	1,08	1,72
	2ª Fila	3761,0	40,5	64,7	3,67	3,24

Os valores de FLD da Sala 7.1 estão representados na malha da Figura IV.167 e na Tabela IV.41.

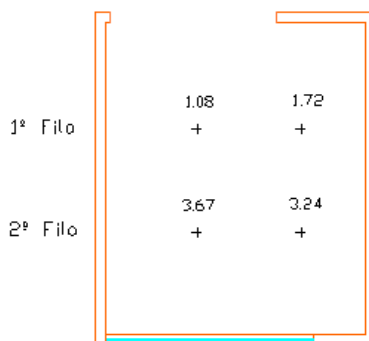


Figura IV.167 – Representação da malha de medição e dos valores do FLD para a Sala 7.1, Habitação 7.1

Da análise da Figura IV.167 e da Tabela IV.41 verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima do envidraçado. Os valores de iluminância medidos são inferiores aos valores recomendados.

### Quarto 7.1

Na Tabela IV.42 apresentam-se os valores das iluminâncias para o Quarto 7.1 e os respectivos valores de FLD calculados. Na Figura IV.168 está representada a malha de medição e os valores do FLD medido.

Tabela IV.42 – Valores de iluminância obtidos com iluminação natural e FLD para o Quarto 7.1

Posição	Iluminância (lux)			FLD (%)	
	Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
1ª Fila	3769,0	175,4	329,4	4,65	8,74
2ª Fila	3769,0	88,4	70,2	1,86	2,35

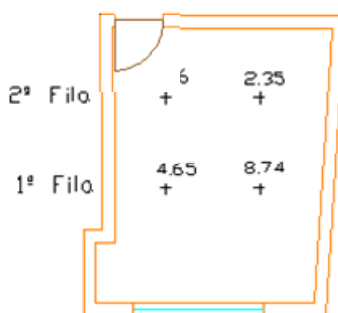


Figura IV.168 – Representação da malha de medição e dos valores de FLD para o Quarto 7.1

Como se pode verificar através da análise da Tabela IV.42 e da Figura IV.168 os valores do FLD são superiores aos valores recomendados, mas os valores da iluminância, excepto num ponto são inferiores aos recomendados.

## Cozinha 7.1

Na Tabela IV.43 apresentam-se os valores das iluminâncias para a Cozinha 7.1 e os respectivos valores do FLD calculados. Na Figura IV.169 está representada a malha de medição, com os valores de FLD respectivos.

Tabela IV.43 – Valores de iluminâncias obtidos para as condições de iluminação natural e FLD para a Cozinha 7.1

Iluminância (lux)			FLD (%)	
Exterior	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
3666	105,6	114,1	2,88	3,11

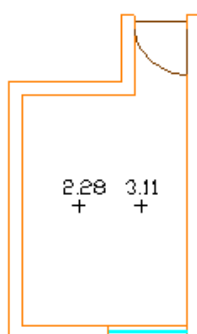


Figura IV.169 – Representação da malha de medição e do valor de FLD para a Cozinha 7.1

O valor de FLD é superior ao recomendado para este tipo de compartimento, tal como a Tabela IV.43 e a Figura IV.169 mostram, mas a iluminância é inferior ao valor recomendado para uma cozinha.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação do comportamento acústico realizada.

## IV.4. Avaliação do Comportamento Acústico

A avaliação da qualidade acústica dos edifícios, que é subjectiva e depende da herança pessoal, socioeconómica e cultural dos ocupantes, pode ser baseada em critérios físicos mesuráveis, descritos na literatura especializada e nas normas internacionais.

A avaliação do desempenho acústico de qualquer edifício deve ser 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 NP<sup>o</sup>1730-1 e com a EN 15251, para a avaliação do nível sonoro medido no quarto, na sala e na cozinha (NP<sup>o</sup>1730-1, 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 ISO 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).

O índice  $D_{2m, nT, w}$  e o índice  $D_{nT, w}$  foram adoptados pela regulamentação Portuguesa para a quantificação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e um espaço no interior de um edifício e

para a quantificação do isolamento sonoro a sons aéreos entre dois espaços interiores de um edifício, respectivamente (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 96/2008).

O índice  $L'_{nT,w}$  foi adoptado pela regulamentação Portuguesa para a quantificação do isolamento sonoro a sons de percussão entre dois espaços interiores (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 98/2008).

O Nível de avaliação padronizado,  $L_{w,nT}$  – Nível sonoro equivalente, ponderado A, durante o intervalo de tempo T, adicionado das correcções das características tonais do ruído, K, e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor, de acordo com o definido do Anexo I é definido na regulamentação portuguesa para caracterizar o nível sonoro no interior dos edifícios devido aos equipamentos comuns 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) (Decreto-Lei n.º 98/2008).

#### IV.4.1. Aspectos Normativos e Regulamentares

Os critérios de desempenho acústico a especificar numa dada situação (por exemplo num edifício de habitação) devem abranger quer as exigências regulamentares aplicáveis, quer critérios complementares que assegurem as condições de conforto acústico compatíveis com a situação em causa.

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.

A EN 15251, refere os requisitos que devem ser cumpridos de modo a que existam condições de conforto acústico no interior dos edifícios.

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.

A NPº1730-1 define os procedimentos de medição em ensaios de avaliação do nível sonoro no exterior e no interior dos edifícios.

#### *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Julho)*

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) “estabelece os requisitos acústicos dos edifícios, com vista a melhorar as condições de qualidade acústica desses edifícios” (RRAE, 2008). Estes requisitos correspondem às exigências acústicas mínimas que os elementos devem cumprir.

O RRAE define um conjunto de valores de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão, em função do tipo de edifício e da natureza dos espaços emissor e receptor.

Nas avaliações in situ destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios, o RRAE refere que deve ser tido em conta um factor de incerteza, I (I = 3 dB), associado à incerteza na determinação das grandezas em causa, sendo o edifício, ou qualquer dos seus fogos, considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando o valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{2m, nT, w}$  ou  $D_{nT, w}$ , acrescidos do factor I e o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, diminuído do factor I, satisfaçam o limite regulamentar (Decreto-Lei n.º 96/2008).

Podem ainda ser definidos critérios complementares de isolamento sonoro a sons de condução aérea ou de percussão. Estes critérios dependem da relação entre a produção de ruído no espaço emissor e do nível ruído de fundo expectável no espaço receptor, não sendo portanto fácil definir valores de referência,

podendo ser apenas baseados em valores mais exigentes do que os constantes na regulamentação (que exige apenas valores mínimos de conforto), e/ou propondo requisitos nela não contemplados.

Como exemplos de critérios de conforto que poderá ser desejável garantir em edifícios de habitação podem-se referir os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão:  $D_{nT,w} \geq 40$  dB entre quartos do mesmo fogo e  $L'_{nT,w} \leq 60$  dB entre qualquer compartimento de um fogo e um escritório de outro fogo (situação que não está contemplada no Decreto-Lei n.º 96/2008).

Para caracterizar devidamente o isolamento sonoro dos edifícios de habitação e mistos é necessário avaliar a parede de fachada, as paredes e pavimentos de separação entre quartos e zonas de estar de uma fracção e zonas comuns de circulação, caixas de escada e elevadores, garagens, zonas de comércio e serviços e de outras fracções autónomas.

No caso da parede de fachada necessário proceder-se à determinação dos valores da transmissão sonora entre o exterior e o interior. A caracterização do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior é realizada através da determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado ( $D_{2m,nT,w}$ ).

No caso das paredes e pavimentos interiores é necessário proceder-se à determinação dos valores da transmissão sonora entre o emissor e o receptor, sendo a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea realizada através da determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado ( $D_{nT,w}$ ).

No caso dos pavimentos é ainda necessário avaliar o isolamento sonoro a sons de percussão, entre o recinto emissor e o recinto receptor, através do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado ( $L'_{nT,w}$ ).

O RRAE define também o Nível de avaliação padronizado,  $L_{A,r,nT}$  – Nível sonoro equivalente, ponderado A, durante o intervalo de tempo T, adicionado das correcções das características tonais do ruído, K, e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor, de acordo com o definido do Anexo I do Regulamento.

### ***Norma NPº1730-1 de 1996***

A norma NPº1730-1 recomenda a realização de pelo menos três medições, em pontos distintos, afastados, no mínimo, de 0,5 metros. A determinação do valor médio dos resultados obtidos é efectuada através de uma média logarítmica.

O intervalo de tempo de medição deve ser escolhido de modo ao mesmo conseguir representar a situação acústica que se pretende caracterizar.

Quando não são efectuadas medições em contínuo, é recomendado que a duração mínima do total de medições seja de, pelo menos, 30 minutos e, cada medição não tenha uma duração inferior a 10 minutos.

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação do ambiente acústico no interior dos edifícios estudados.

#### **IV.4.2. Avaliação do comportamento acústico in situ**

##### **CÉLULAS DE TESTE DE EDIFÍCIOS NÃO CONVENCIONAIS**

As células de teste e os elementos construtivas ensaiadas estão representadas na Figura IV.170.

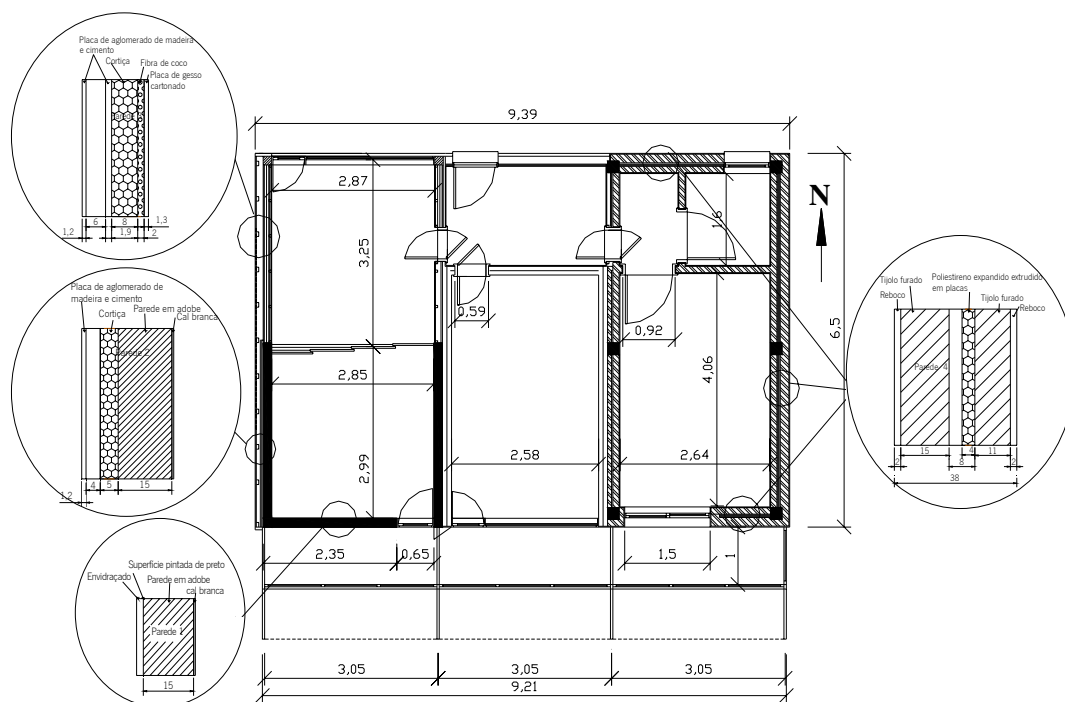


Figura IV.170 – Representação esquemática das células de teste e das soluções construtivas ensaiadas (distancias em metros)

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 extrudado 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.

Na Tabela IV.44 apresentam-se as características dos elementos construtivos.



Tabela IV.44 - Características geométricas dos elementos construtivos das células de teste

Elemento	Área [m <sup>2</sup> ]	Massa [kg/m <sup>2</sup> ]
<b>Célula de teste 1 - não-Convencional</b>		
Cobertura Sul	10,5	404,8
Pavimento Sul	10,5	449,4
Cobertura Norte	10,9	37,0
Pavimento Norte	10,9	69,3
<b>Fachada Sul - Parede 1</b>		
Adobe	5,7	289,5
Envidraçado	1,6	12,0
<b>Fachada Oeste - Parede 2 e Parede 3</b>		
Adobe + isolamento	9,0	318,7
Sanduíche	9,8	79,1
<b>Fachada Norte</b>		
Envidraçado	8,6	12,0
<b>Célula de teste 2 - Convencional</b>		
Cobertura	19,8	356,0
Pavimento	19,8	418,0
<b>Fachada Sul - Parede 4</b>		
Parede dupla	5,9	452,0
Envidraçado	3,3	12,0
<b>Fachada Este - Parede 4</b>		
Parede dupla	19,5	452,0
<b>Parede Norte - Parede 4</b>		
Parede dupla	8,6	452,0
Envidraçado	0,6	12,0

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,  $D_{2m, nT, wT}$  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 IV.45, 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 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))

Elemento	$D_{2m,nT,w}$ [dB]		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
<b>Soluções não convencionais</b>			
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	-
<b>Solução convencional</b>			
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 IV.171, na Figura IV.172 e na Figura IV.173 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.

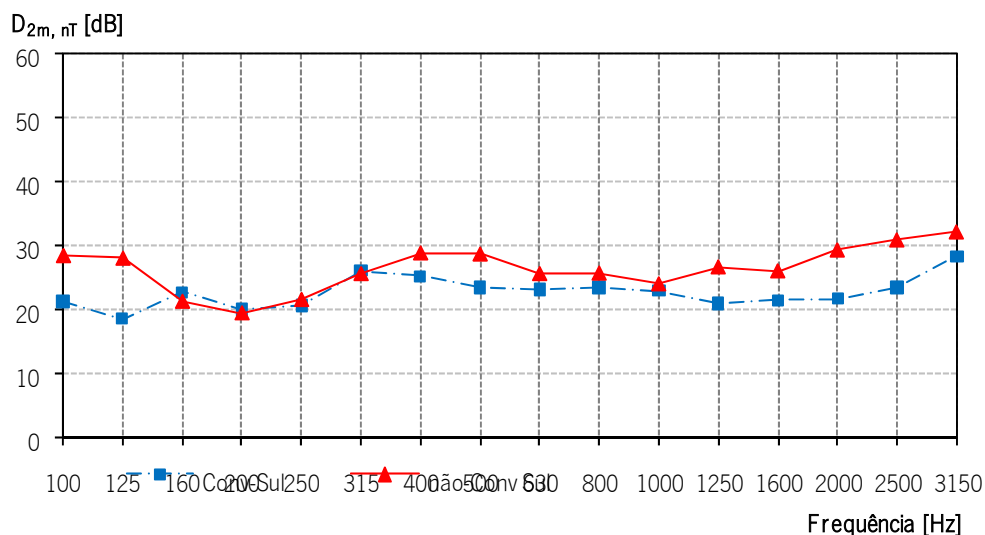


Figura IV.171 - Isolamento sonoro das paredes Sul das Células de Teste 1 e 2 - Caso 1

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 IV.172.

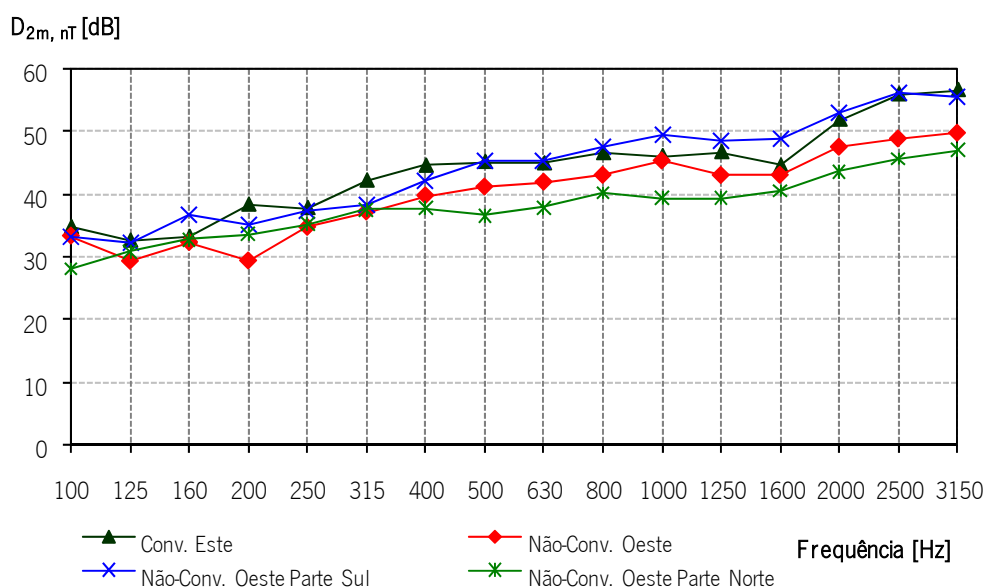


Figura IV.172 - Isolamento sonoro das paredes Este e Oeste das Células de Teste 1 e 2 - Caso 2

A Figura IV.173 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.

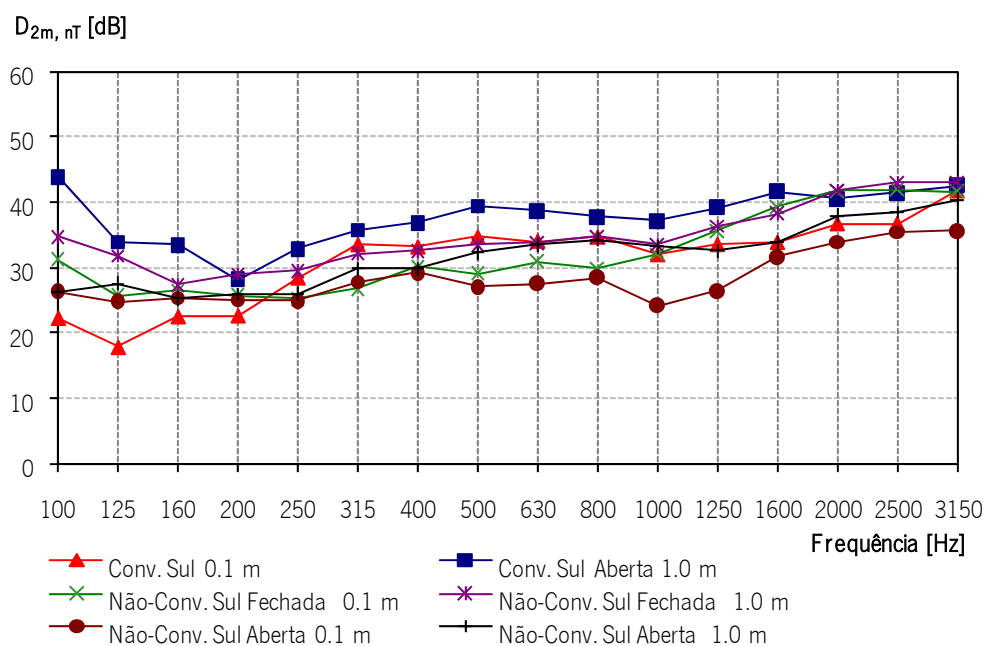


Figura IV.173 - Isolamento sonoro das células de teste - Caso 3

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).

## EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

De seguida apresentam-se os resultados da avaliação do isolamento acústico in situ, em vários edifícios habitacionais e mistos, sendo a apresentação realizada em função da solução construtiva e não do edifício analisado. Em primeiro lugar apresentam-se as paredes de fachada, depois as paredes interiores e por último os pavimentos.

### *Paredes Exteriores de Fachada*

#### Parede exterior 1 (ParE1)

Parede dupla de alvenaria de tijolo furado com panos de 11 cm e 11 cm, com as faces rebocadas e estanhadas com 1,5 cm de espessura, com uma caixa-de-ar de 4 cm, parcialmente preenchida com 2 cm de lã rocha com 70 kg/m<sup>3</sup> de densidade. O envidraçado é duplo, de vidro incolor, com (4+6+4) mm, ocupando 95% da parede de fachada.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.46 e na Figura IV.174.

Tabela IV.46 – Dados relativos ao recinto receptor – ParE1

Área do Elemento Construtivo	Área do Recinto Receptor	Volume do Recinto Receptor
16,8 m <sup>2</sup>	47,2	122,7 m <sup>3</sup>

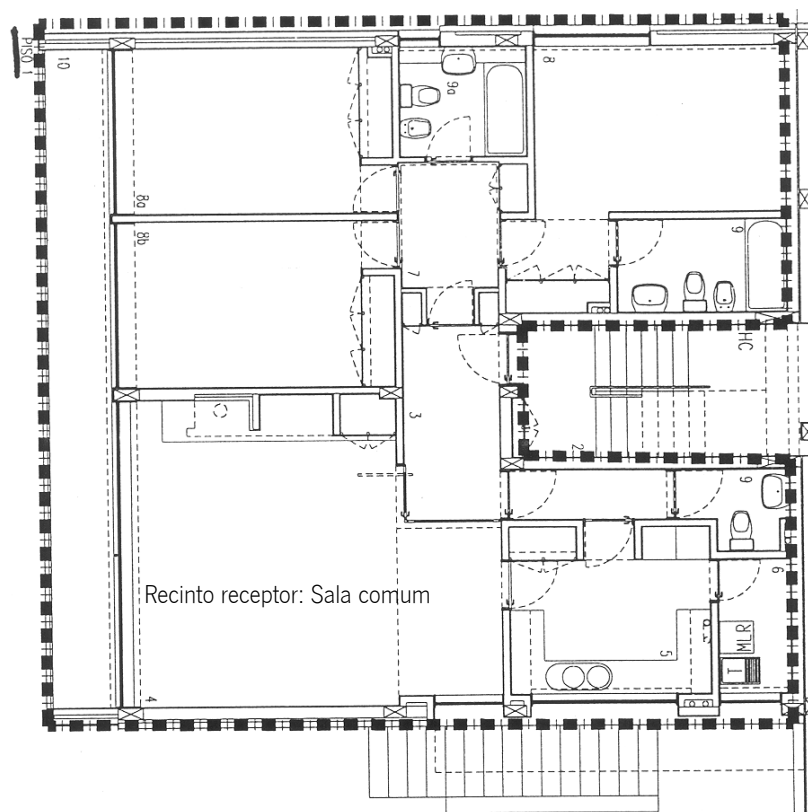


Figura IV.174 – Planta do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede exterior 1, ParE1

Na Tabela e no gráfico da Figura IV.175 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede exterior 1, ParE1.

Freq.	$D_{2m,nT}$
[Hz]	[dB]
100	16,2
125	15,2
160	16,2
200	17,1
250	16,4
315	17,7
400	22,3
500	25,2
630	26,8
800	26,9
1000	27,4
1250	30,9
1600	31,6
2000	32,2
2500	31,7
3150	32,0
$D_{nT,w}$	28 dB

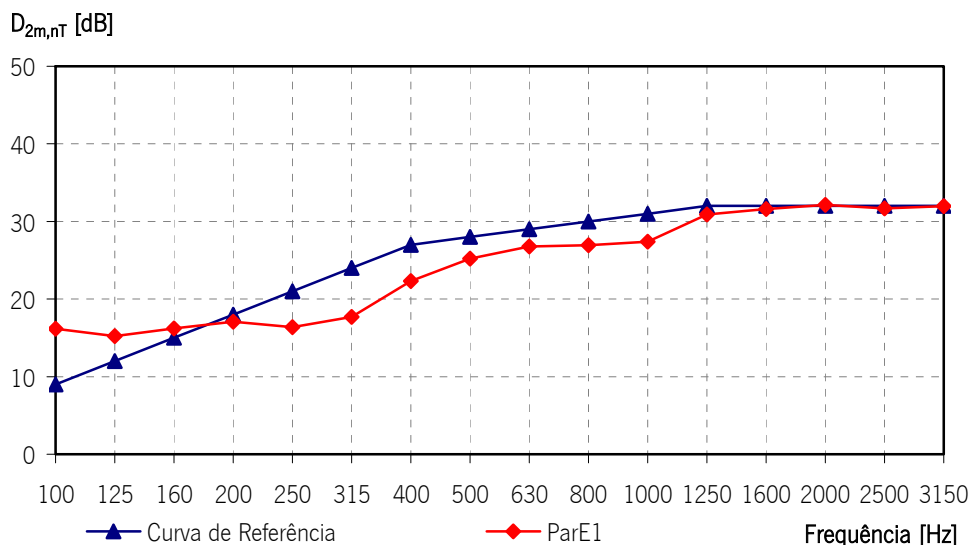


Figura IV.175 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede exterior 1, ParE1

Tal como a Figura IV.175 mostra o índice de isolamento da parede de fachada,  $D_{2m,nT,w}$  é de 28 dB.

### Parede exterior 2 (ParE2)

A parede exterior 2, ParE2 é uma parede dupla de tijolo cerâmico 11+11 cm, com uma caixa-de-ar de 3 cm, parcialmente preenchida com 2 cm de poliestireno expandido extrudido, revestida na sua face exterior com 1,5 cm de mono massa e com 1,5 cm de estuque pelo interior. A caixilharia possui um vidro simples de 6 mm, sendo o estore em PVC e a caixa de estore pré-fabricada.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.47 e na Figura IV.176.

Tabela IV.47 – Dados relativos ao recinto receptor – ParE2

Área do Elemento Construtivo	Área do Recinto Receptor	Volume do Recinto Receptor
6,1 m <sup>2</sup>	6,0 m <sup>2</sup>	14,1 m <sup>3</sup>

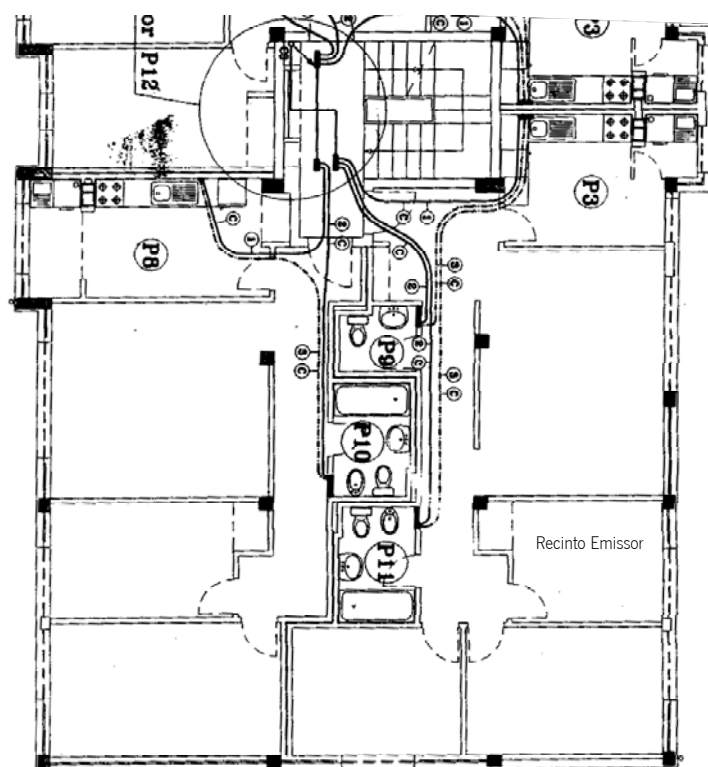


Figura IV.176 – Planta do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede exterior 2, ParE2

Na Tabela e no gráfico da Figura IV.177 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede exterior 2, ParE2.

Freq.	$D_{2m,nT}$
[Hz]	[dB]
100	32,8
125	30,0
160	23,1
200	25,7
250	27,0
315	30,2
400	32,6
500	29,3
630	30,8
800	34,1
1000	34,0
1250	33,1
1600	35,7
2000	34,6
2500	38,5
3150	38,5
$D_{nT,w}$	34 dB

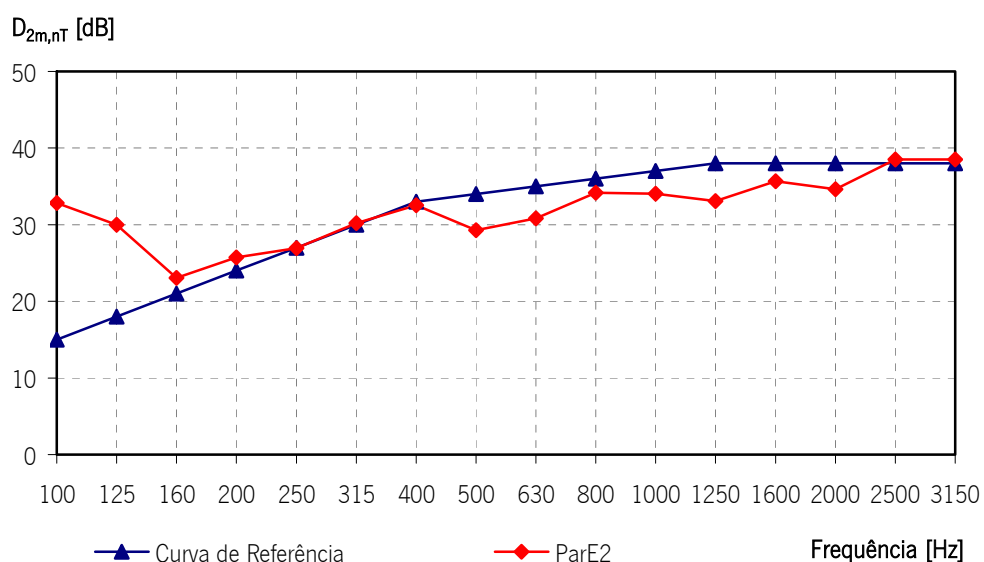


Figura IV.177 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede exterior 2, ParE2

Tal como a Figura IV.175 mostra o índice de isolamento da parede de fachada,  $D_{2m,nT,W}$  é de 34 dB.

### Parede exterior 3 (ParE3)

A parede estudada é uma parede dupla de tijolo cerâmico 11+15 cm, com uma caixa-de-ar de 5 cm, parcialmente preenchida com 4 cm de poliestireno expandido extrudido, revestida na sua face exterior com plaquetas de tijolo e com 1,5 cm de estuque pelo interior. A caixilharia possui um vidro duplo 6+10+4 (mm), sendo o estore em PVC e a caixa de estore pré-fabricada.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.48 e na Figura IV.178.

Tabela IV.48 – Dados relativos ao recinto receptor – ParE3

Área do Elemento Construtivo	Área do Recinto Receptor	Volume do Recinto Receptor
8,1 m <sup>2</sup>	16,3 m <sup>2</sup>	42,4 m <sup>3</sup>

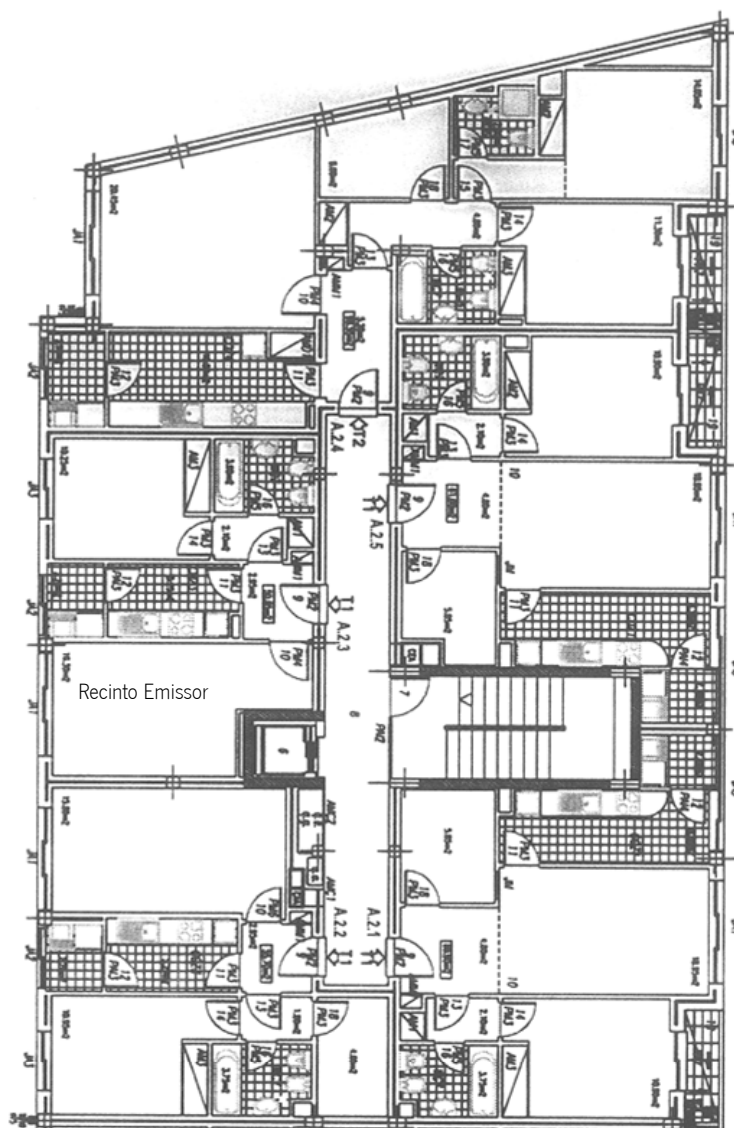


Figura IV.178 – Planta do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede exterior 3, ParE3



Na Tabela e no gráfico da Figura IV.179 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede exterior3, ParE3.

Freq.	$D_{2m,nT}$
[Hz]	[dB]
100	17,3
125	19,3
160	19,5
200	25,8
250	32,0
315	36,8
400	40,6
500	35,6
630	31,1
800	33,1
1000	32,4
1250	30,9
1600	33,8
2000	27,1
2500	27,9
3150	24,4
$D_{nT,w}$	30 dB

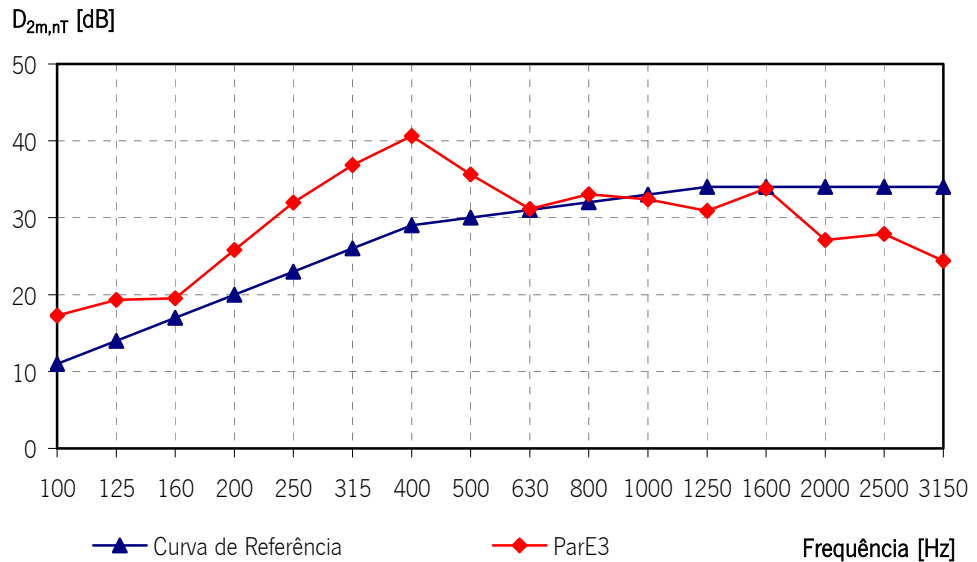


Figura IV.179 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede exterior 3, ParE3

Tal como a Figura IV.175 mostra o índice de isolamento da parede de fachada,  $D_{2m,nT,W}$  é de 30 dB.

#### 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 IV.180). A caixilharia possui um vidro duplo 6+8+5 (mm), sendo o estore em PVC e a caixa de estore é de betão

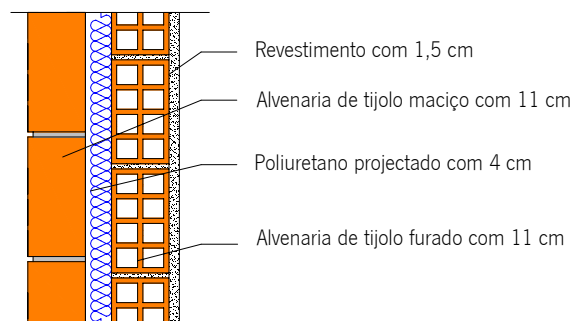


Figura IV.180 – Parede exterior tipo 4 – ParE4

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.49 e na Figura IV.181.

Tabela IV.49 – 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 <sup>2</sup>	1,6 m <sup>2</sup>	10,5 m <sup>2</sup>	31,8 m <sup>3</sup>
ParE4.2 (sala)	8,4 m <sup>2</sup>	5,6 m <sup>2</sup>	24,9 m <sup>2</sup>	62,3 m <sup>3</sup>

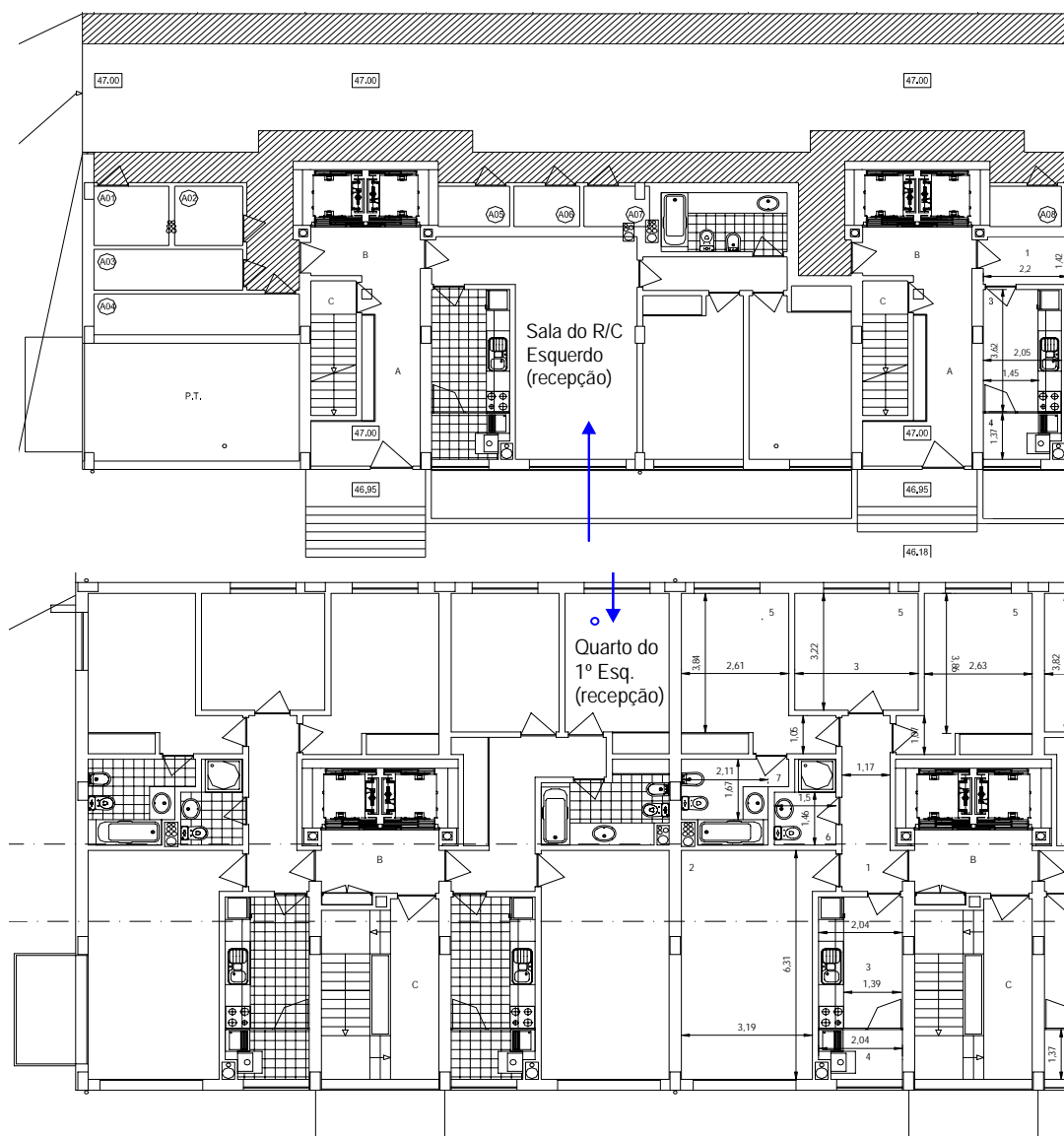


Figura IV.181 – Planta dos recintos receptores dos ensaios de avaliação do isolamento da parede exterior 3, ParE4

Na Tabela IV.50 e na Figura IV.182 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede exterior 4, ParE4.

Tabela IV.50 – 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

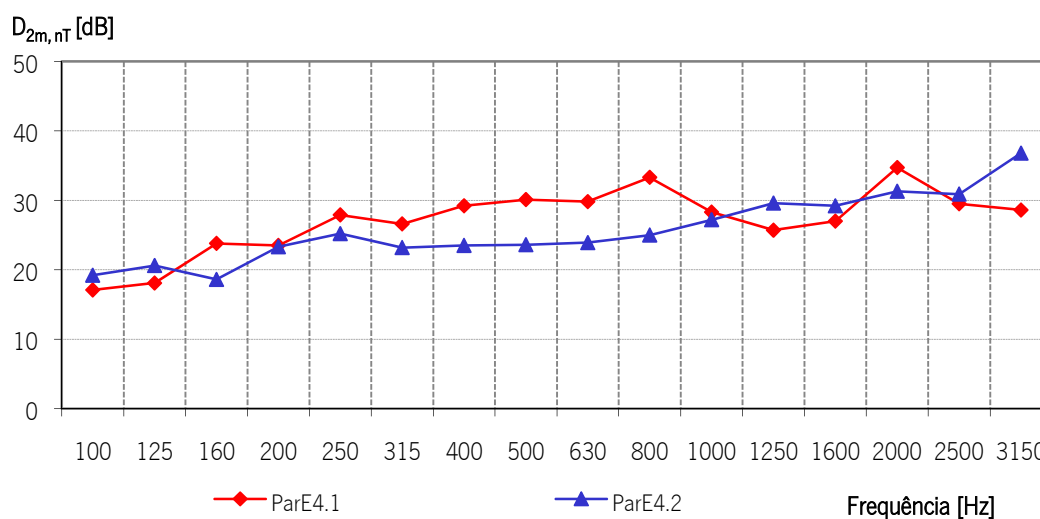


Figura IV.182 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede exterior 4, ParE4.1 e ParE4.2

Tal como a Tabela IV.50 e a Figura IV.182 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 (Parl1)**

A parede interior 1, Parl1, 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/m<sup>3</sup> de densidade (Figura IV.183).

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 IV.184. A laje de tecto assenta directamente na parede.

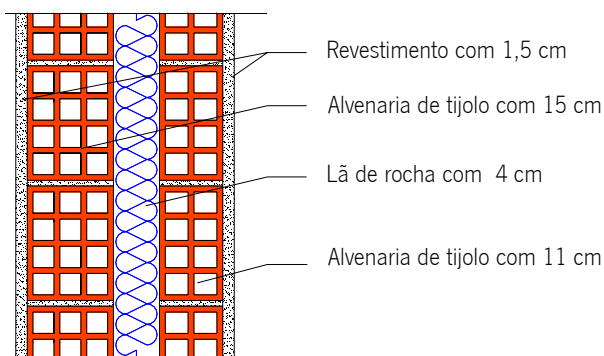


Figura IV.183 – Parede de separação entre habitações – Parl1

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 IV.184.

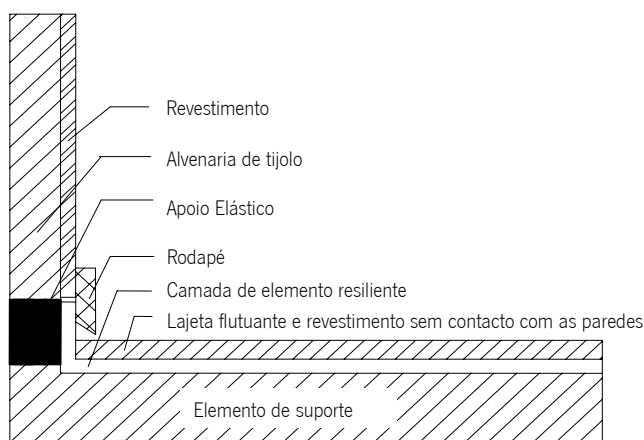


Figura IV.184 – Pormenor de ligação do rodapé à Parl1

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.51 e na Figura IV.185.

Tabela IV.51 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Parl1

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
10,2 m <sup>2</sup>	28,2 m <sup>3</sup>	37,2 m <sup>3</sup>

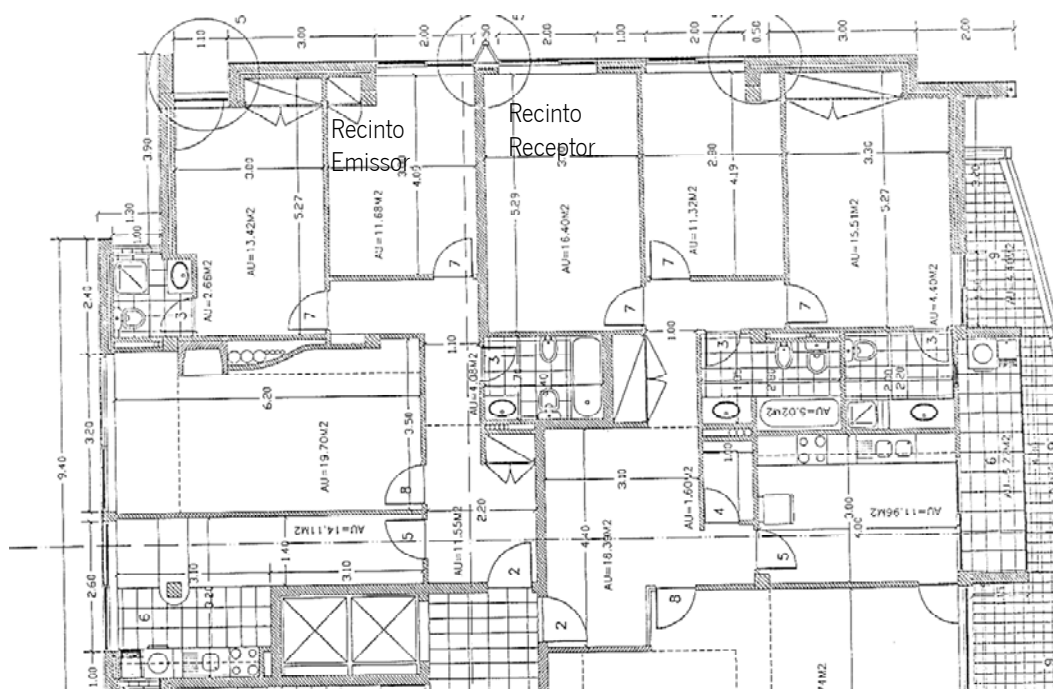


Figura IV.185 – Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior Parl1

Na Tabela e no gráfico da Figura IV.186 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

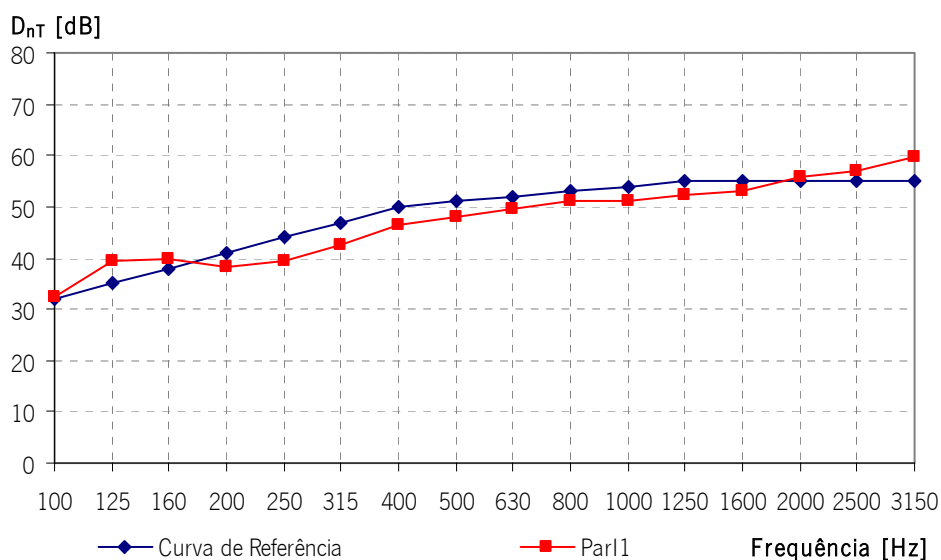


Figura IV.186 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Parl1

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 IV.186.

**Parede interior 2 (Parl2)**

A parede interior 2, Parl2, é uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado com panos de 15 cm e 15 cm, com as faces rebocadas com 1,5 cm de espessura, com uma caixa-de-ar de 8 cm, parcialmente preenchida com 6 cm de lã rocha com 90 kg/m<sup>3</sup> de densidade.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.52 e na Figura IV.187.

Tabela IV.52 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Parl2

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
13,5 m <sup>2</sup>	147,0 m <sup>3</sup>	35,1 m <sup>3</sup>

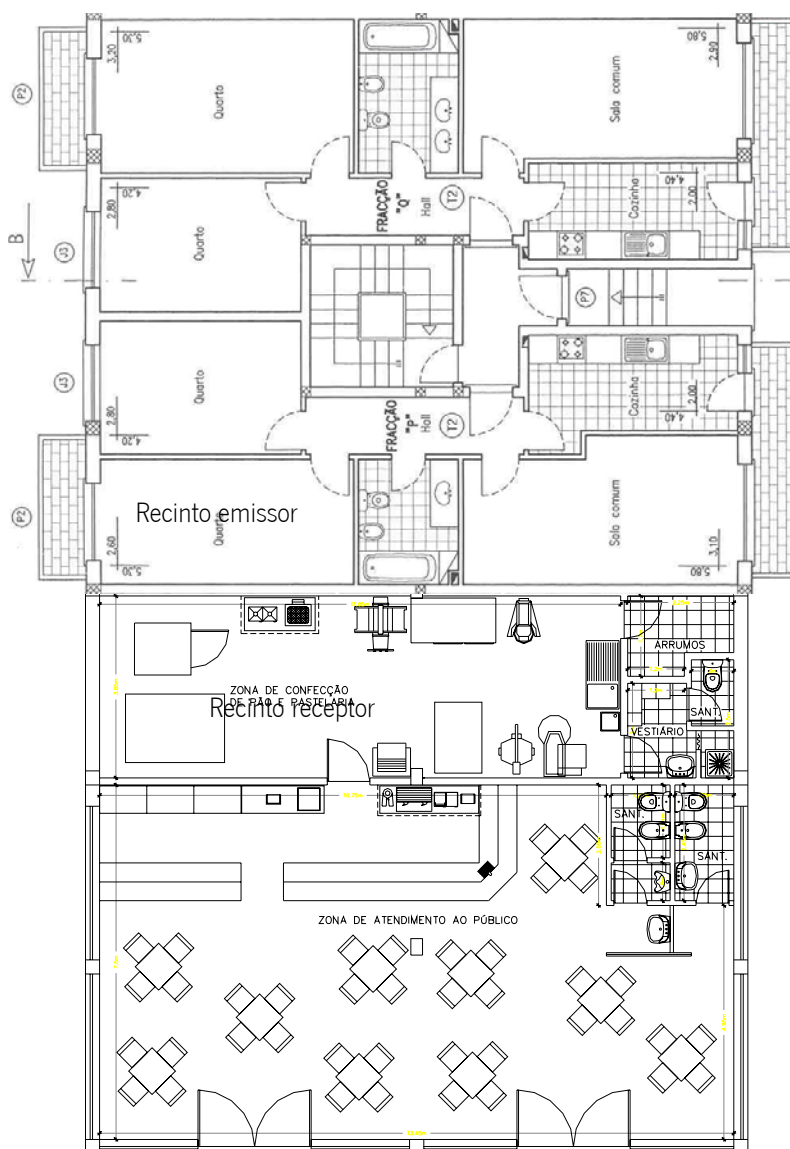


Figura IV.187 – Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior Parl2

Na Tabela e no gráfico da Figura IV.188 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede Parl2.

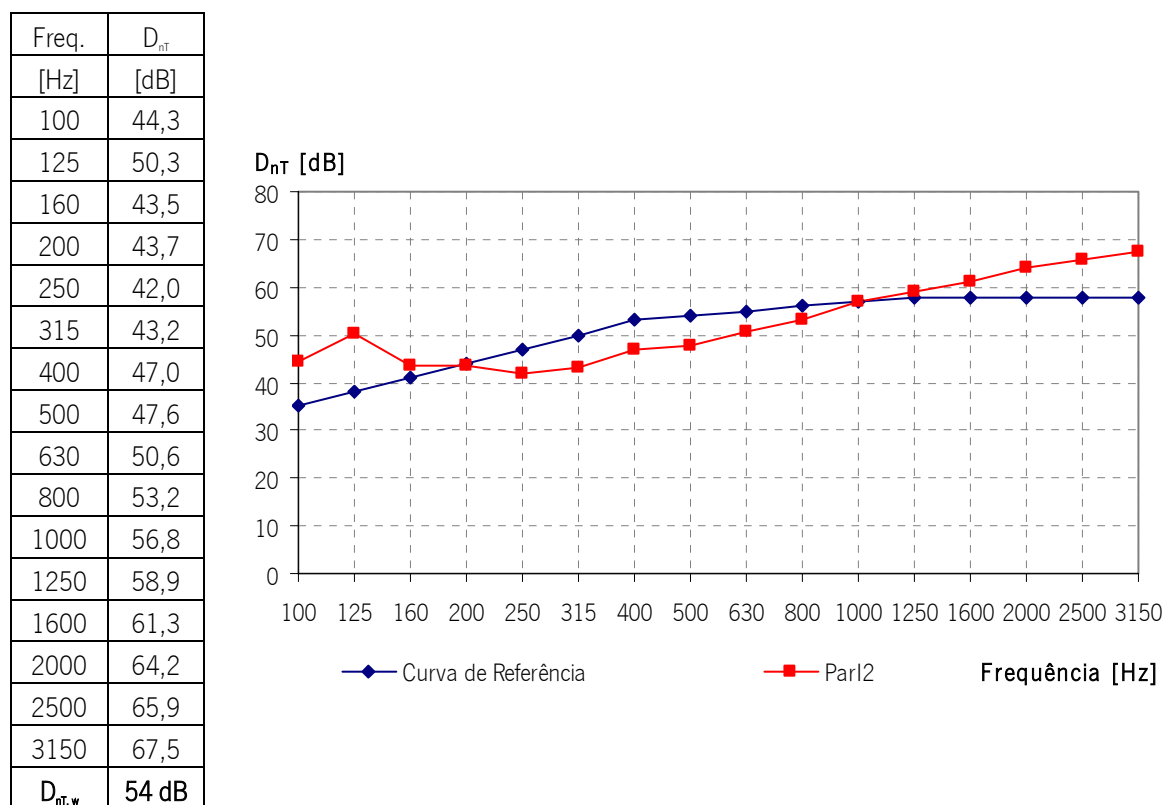


Figura IV.188 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Parl2

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) da parede interior Parl2 é de 54 dB, tal como mostra a Figura IV.188.

### Parede interior 3 (Parl3)

A parede interior 3, Parl3 é uma parede simples de alvenaria de tijolo furado de 22 cm, com as faces rebocadas com 1,5 cm de espessura.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.53.

Tabela IV.53 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Parl3

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
13,5 m <sup>2</sup>	70,7 m <sup>3</sup>	18,0 m <sup>3</sup>

Na Tabela e no gráfico da Figura IV.189 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede Parl3.

Freq.	$D_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	43,3
125	35,2
160	44,9
200	46,4
250	44,9
315	49,9
400	51,9
500	53,5
630	51,0
800	54,2
1000	56,3
1250	57,7
1600	58,7
2000	61,3
2500	61,0
3150	56,8
$D_{nT,w}$	55 dB

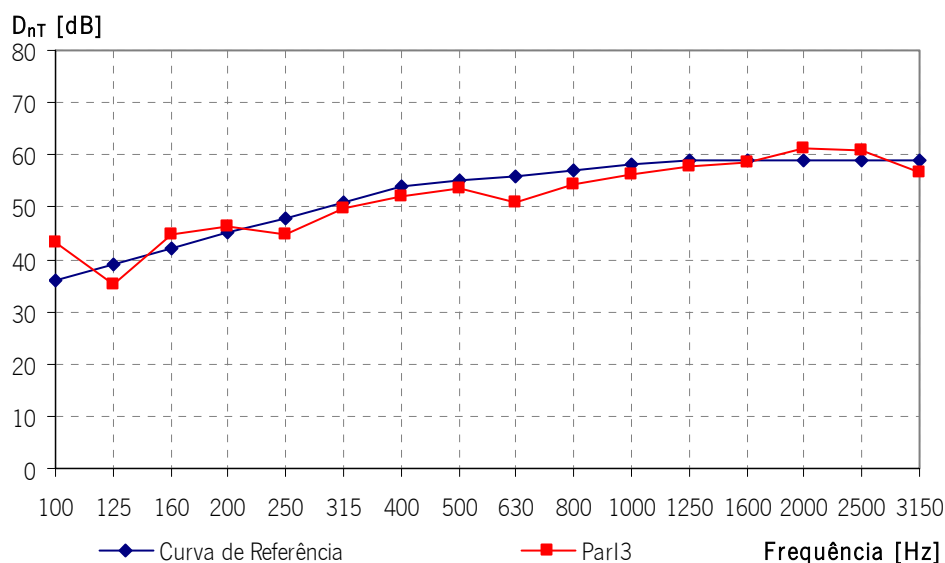


Figura IV.189 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Par13

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) da parede interior Par13 é de 55 dB, tal como mostra a Figura IV.189.

#### Parede interior 4 (Par14)

A parede interior 4 é uma parede simples de alvenaria de tijolo furado de 20 cm, com as faces estucadas com 1,5 cm de espessura, Par14.1, ou revestida por material cerâmico, Par14.2.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.54 e na Figura IV.190.

Tabela IV.54 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Par14

Elemento Construtivo	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor	Receptor
Par14.1	10,4 m <sup>2</sup>	36,4 m <sup>3</sup>	35,4 m <sup>3</sup>
Par14.2	6,4	12,3	11,0



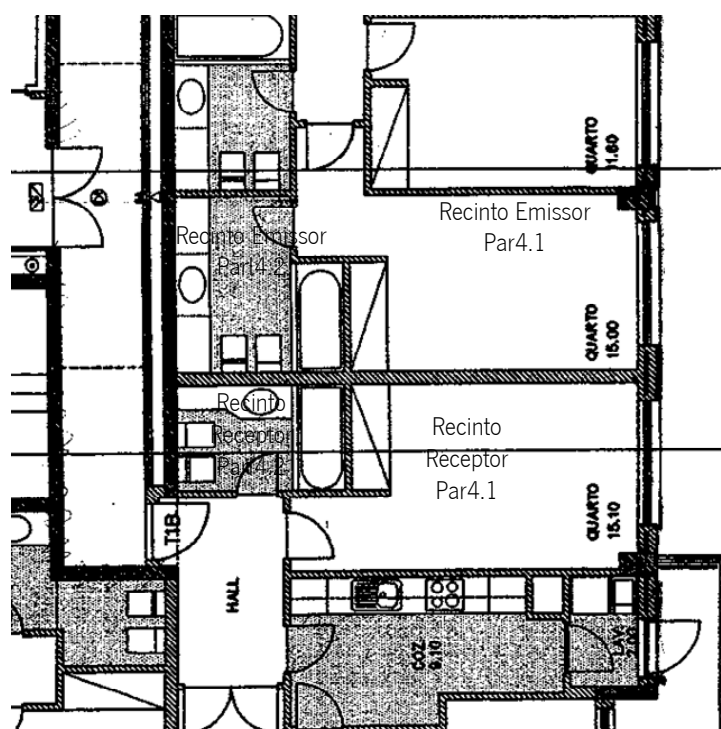


Figura IV.190 – Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior Par4

Na Tabela IV.55 e na Figura IV.191 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede interior 4, Par4.1 e Par4.2.

Tabela IV.55 – Dados relativos às medições acústicas da Par4.1 e da Par4.2

Frequência [Hz]	Par4.1	Par4.2
	$D_{nT}$ [dB]	$D_{nT}$ [dB]
100	36,8	30,2
125	39,1	40,0
160	30,6	40,4
200	36,1	47,5
250	38,4	40,1
315	36,2	45,9
400	36,7	47,2
500	41,1	48,1
630	41,5	50,6
800	44,9	52,0
1000	46,3	54,1
1250	48,3	54,3
1600	48,6	53,0
2000	50,2	54,6
2500	50,6	55,0
3150	53,5	57,0
$D_{n,TW}$ [dB]	45 dB	52 dB

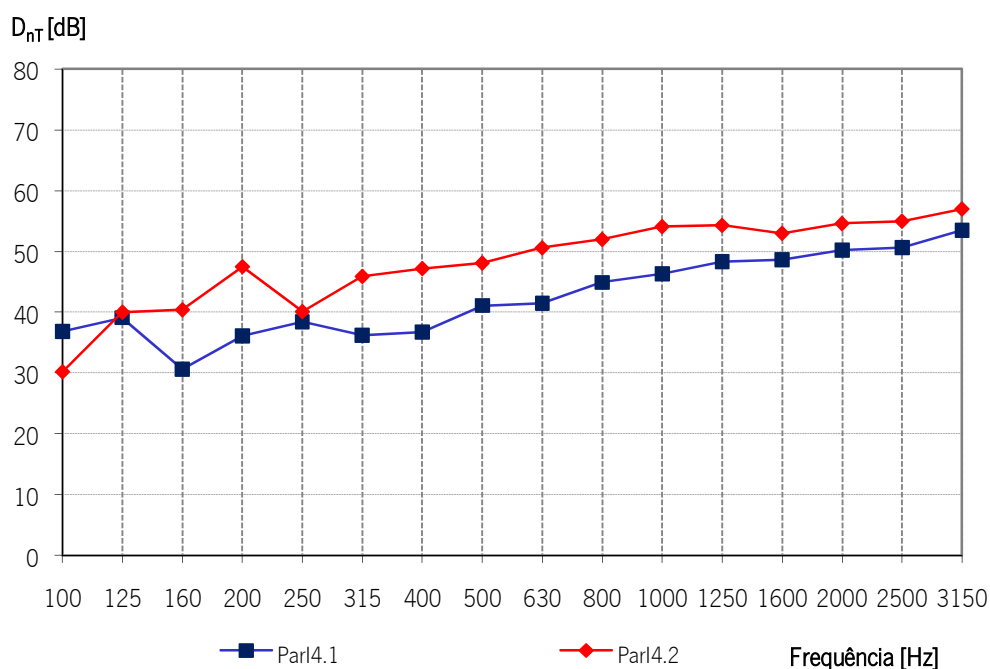


Figura IV.191 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede interior 4, ParE4.1 e ParE4.2

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) da parede interior Par4.1 é de 45 dB, e da parede interior Par4.2, com revestimento em material cerâmico, é de 52 dB, tal como mostram a Tabela IV.55 e a Figura IV.191.

### Parede interior 5 (Par15)

A parede interior 5, Par15, é uma parede dupla, leve constituída por duas placas de gesso cartonado com 1.3 cm de espessura, separadas por uma caixa-de-ar de 5 cm preenchida por lã mineral em mantas, com 70 kg/m<sup>3</sup> de densidade.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.56 e na Figura IV.192.

Tabela IV.56 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Par15

Elemento Construtivo	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor – Quarto 2	Receptor – Quarto 3
Par15	16,1 m <sup>2</sup>	33,7 m <sup>3</sup>	51,9 m <sup>3</sup>

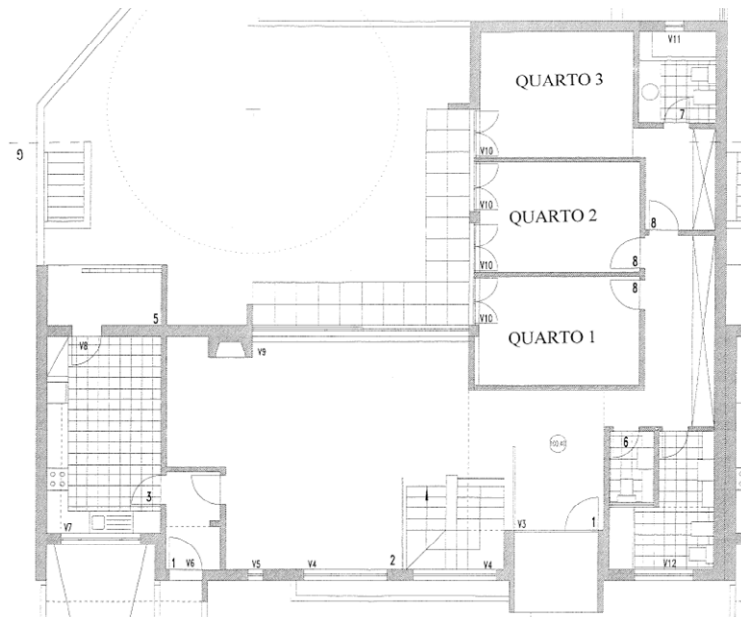


Figura IV.192 – Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior Parl5

Na Tabela e no gráfico da Figura IV.198 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede Parl5.

Freq.	$D_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	14,2
125	23,4
160	25,2
200	31,2
250	36,7
315	39,7
400	42,4
500	42,1
630	40,8
800	40,6
1000	41,1
1250	41,7
1600	40,2
2000	38,9
2500	37,6
3150	38,2
$D_{nT,w}$	39 dB

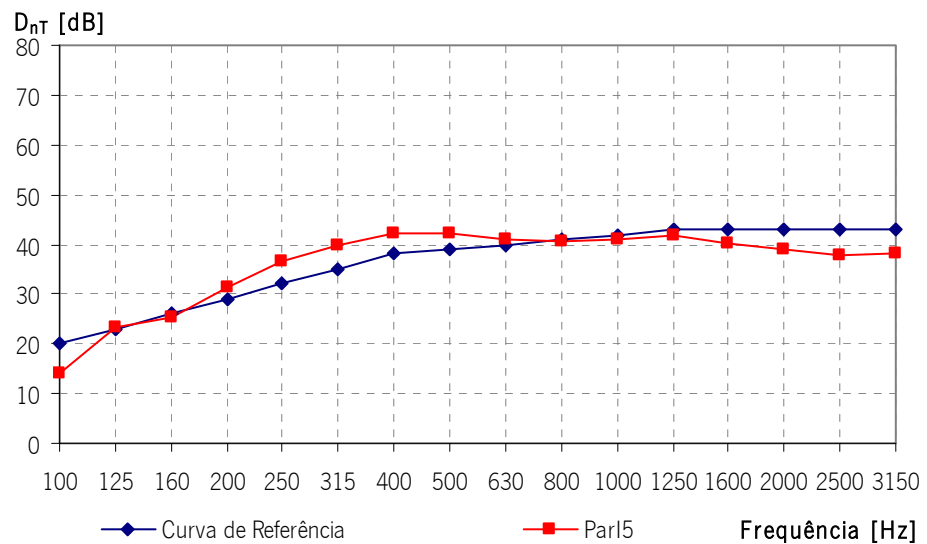


Figura IV.193 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede interior Parl5

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) da parede interior Parl5 é de 39 dB, tal como mostra a Figura IV.198.

### 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 IV.183).

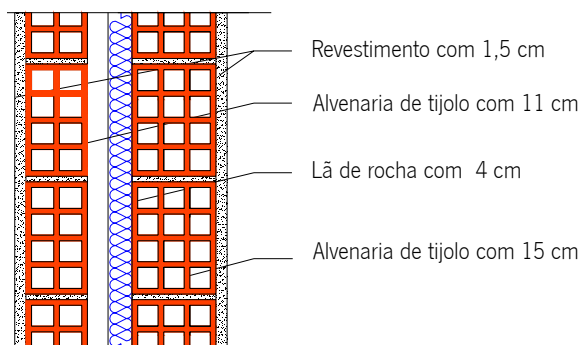


Figura IV.194 – Parede de separação entre habitações – Parl1

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.57 e na Figura IV.195.

Tabela IV.57 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Parl6

	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor	Receptor
Parl6.1	9,6 m <sup>2</sup>	25,5 m <sup>3</sup>	31,6 m <sup>3</sup>
Parl6.2	11,2 m <sup>2</sup>	32,5 m <sup>3</sup>	26,8 m <sup>3</sup>

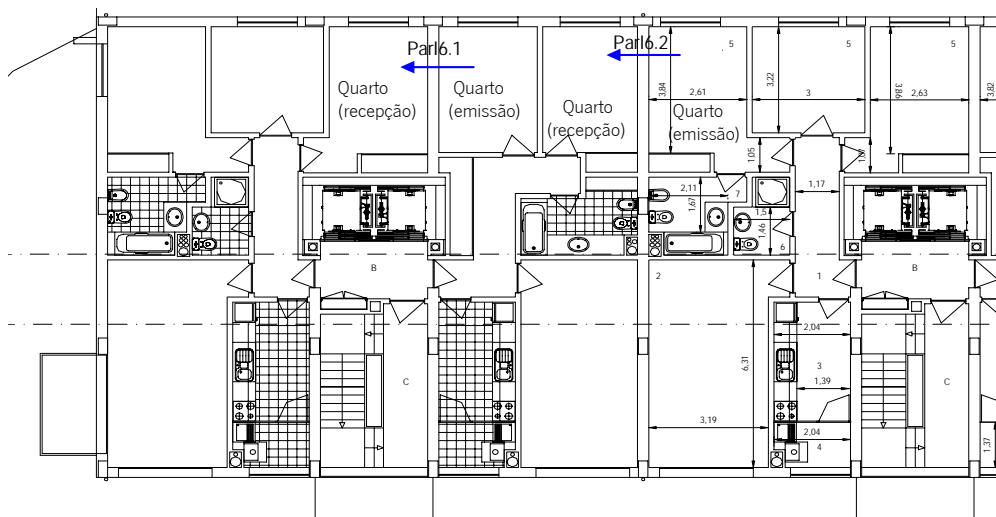


Figura IV.195 – Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento da parede interior 6 – Parl6

Na Tabela IV.61 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro da parede interior 6, Parl6.

Tabela IV.58 – 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
$D_{nT,w}$ [dB]	50	48

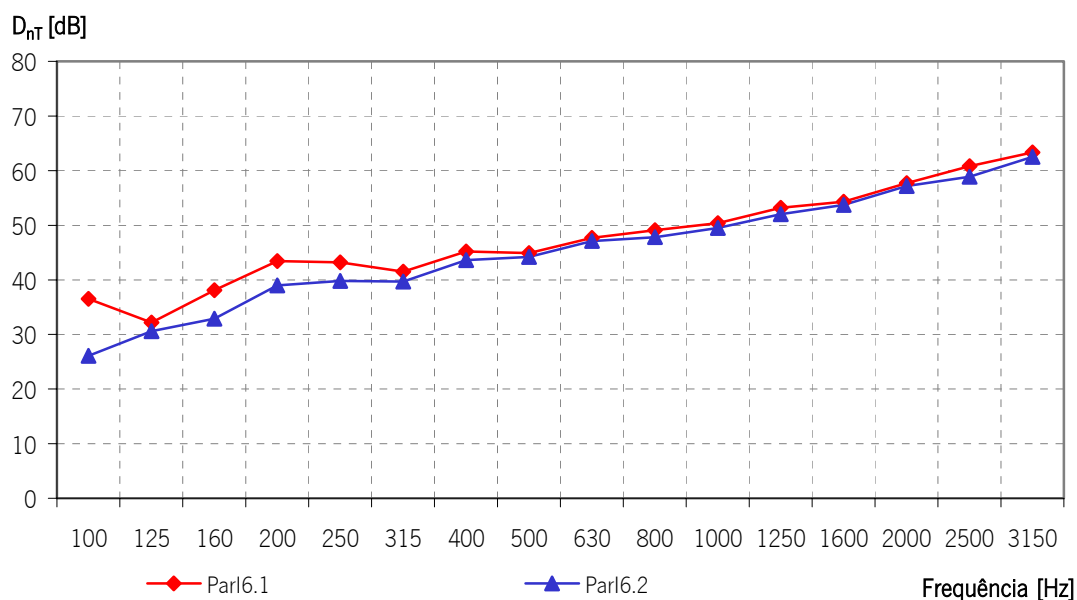


Figura IV.196 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado das paredes Parl6.1 e Parl6.2

Tal como mostram a Tabela IV.58 e o gráfico da Figura IV.196 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 IV.197.

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 IV.197).

Entre os barrotes existe lã de rocha com 40 kg/m<sup>3</sup> 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.

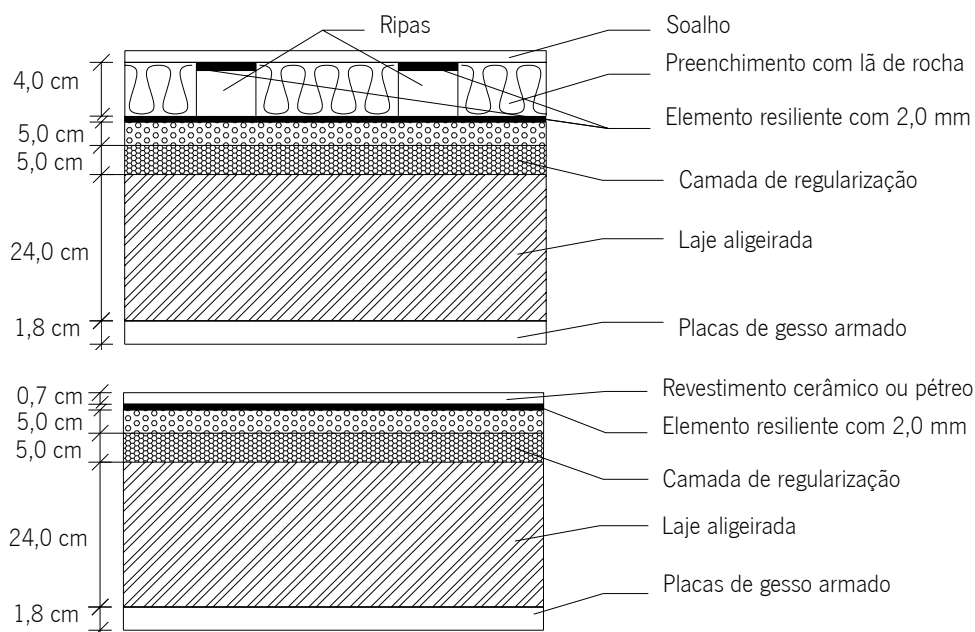


Figura IV.197 – Pavimento de separação entre duas habitações com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo – Pav1

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.59 e na Figura IV.198.

Tabela IV.59 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav1

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
10,9 m <sup>2</sup>	28,2 m <sup>3</sup>	27,9 m <sup>3</sup>

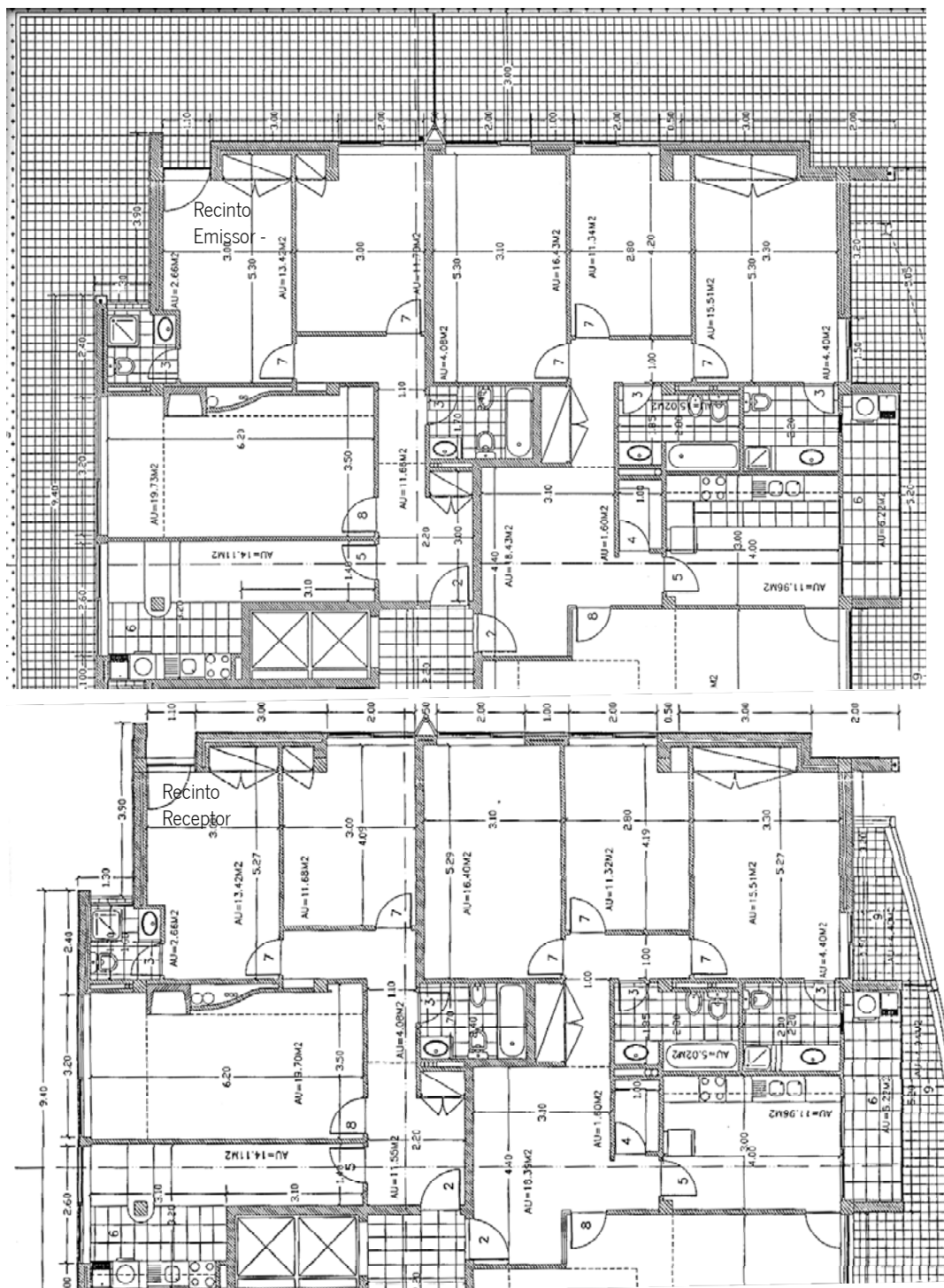


Figura IV.198 – Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento do pavimento – Pav1

Nas Tabelas e nos gráficos da Figura IV.199 e da Figura IV.200 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão do pavimento Pav1.

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
$D_{nT,w}$	<b>56 dB</b>

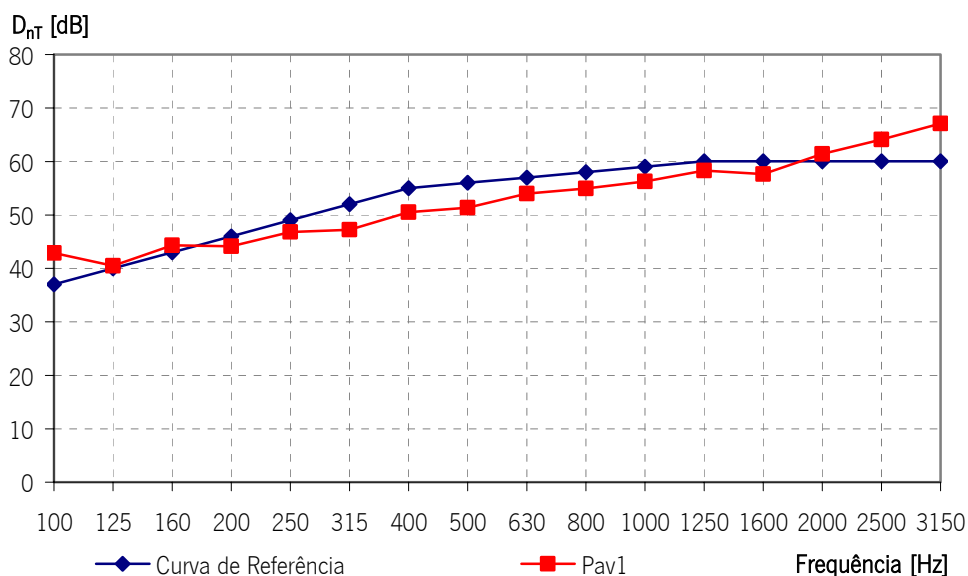


Figura IV.199 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento Pav1

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
$D_{nT,w}$	<b>55 dB</b>

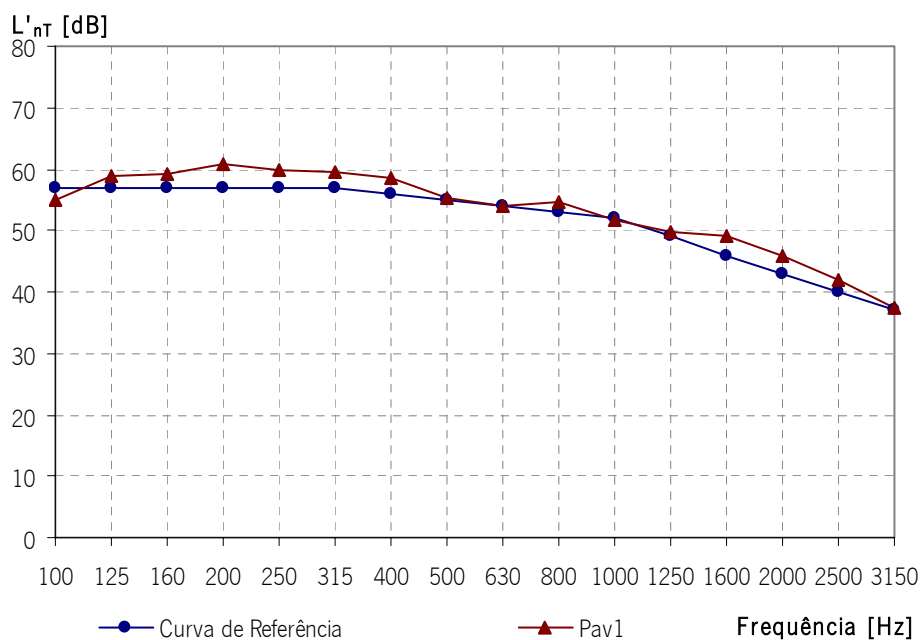


Figura IV.200 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento Pav1



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 IV.199 e a Figura IV.200.

### 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 IV.201).

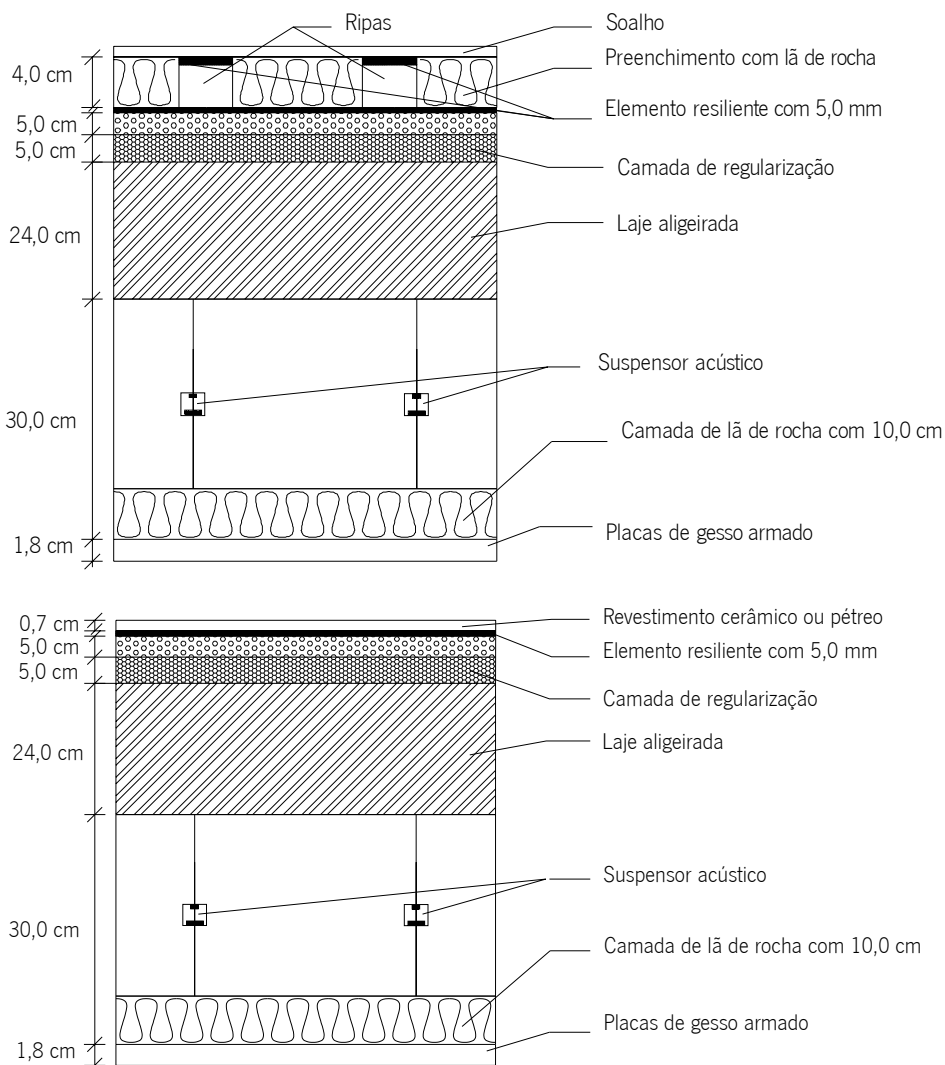


Figura IV.201 – Pavimento de separação entre uma habitação e a zona de escritórios com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo, Pav2

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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 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 IV.60. Na Tabela IV.61 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 IV.60 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav2

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
11,6 m <sup>2</sup>	30,2 m <sup>3</sup>	552,1 m <sup>3</sup>

Tabela IV.61 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav2.1 sem isolamento e Pav2.2, com isolamento

Frequência [Hz]	Pav2.1		Pav2.2	
	D <sub>nr</sub> [dB]	L' <sub>nr</sub> [dB]	D <sub>nr</sub> [dB]	L' <sub>nr</sub> [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
<b>D<sub>nT,w</sub> [dB]</b>	<b>50</b>	<b>-</b>	<b>58</b>	<b>-</b>
<b>L'<sub>nr,w</sub> [dB]</b>	<b>-</b>	<b>52</b>	<b>-</b>	<b>51</b>

Tal como mostram a Tabela IV.61 e o gráfico da Figura IV.202 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 IV.61 e o gráfico da Figura IV.203.

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.

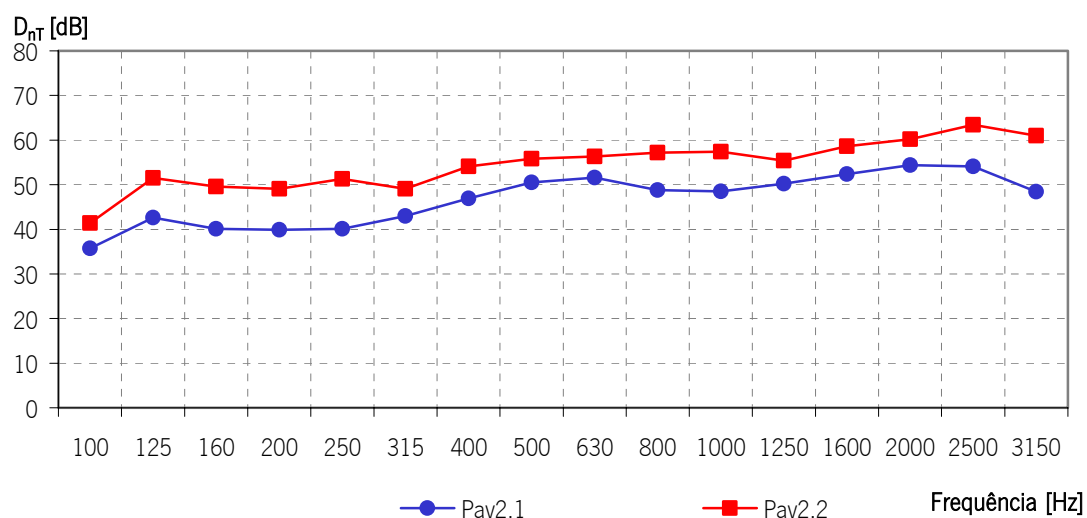


Figura IV.202 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2

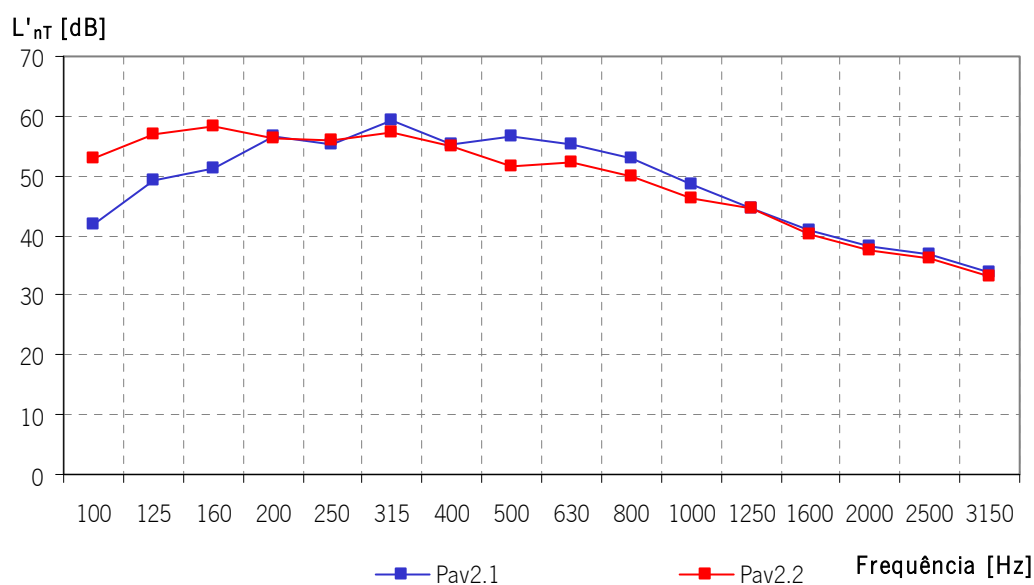


Figura IV.203 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2

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 lâ mineral, de baixa densidade, em mantas, tal como representado na Figura IV.204.

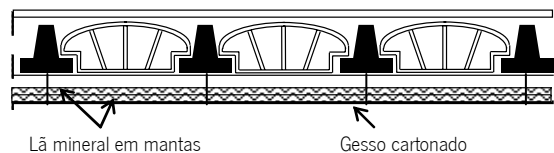


Figura IV.204 - Solução construtiva inicial

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 IV.205 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 lâ mineral, de 0,060 m de espessura e 90 kg/m<sup>3</sup> 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 lâ mineral com as mesmas características. O primeiro tecto falso é suportado por suspensores acústicos (Figura IV.206).

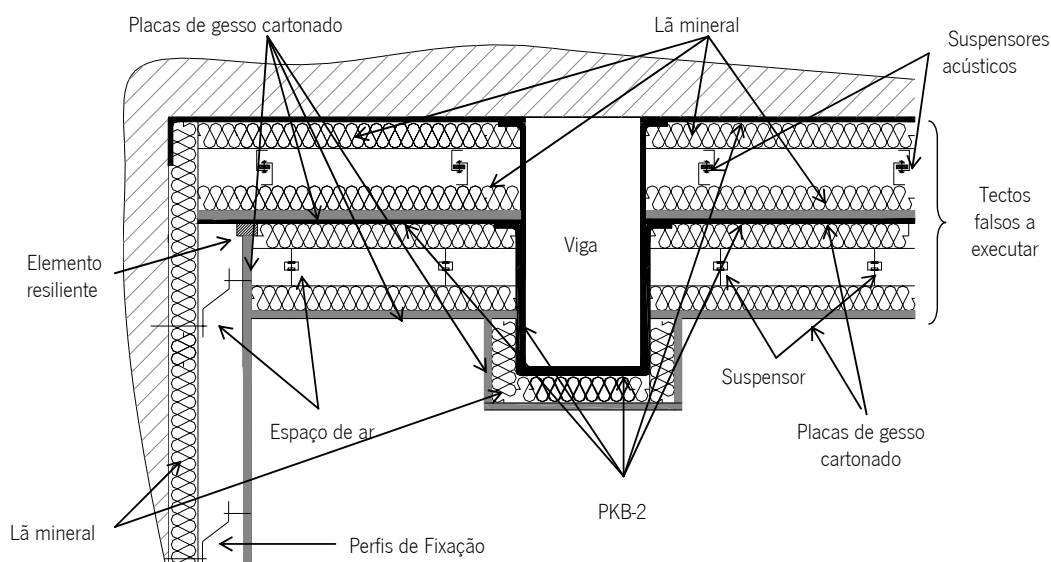


Figura IV.205 - Corte da laje com representação da solução de reforço de isolamento acústico a adoptar, na ligação entre a parede e o tecto e na zona da viga, Pav3

A envolver as vigas existem duas camadas do material acústico, uma camada de lâ mineral, com 0,02 m de espessura e 90 kg/m<sup>3</sup> de densidade, tal como a Figura IV.205 e a Figura IV.206 mostram, seguidas das placas de gesso cartonado idênticas às do tecto falso, quer na face inferior quer nas faces laterais.



Figura IV.206 – Pormenores do processo de reabilitação acústica

As paredes foram também reforçadas, com um segundo pano de parede, constituído por lã mineral, com 0,06 m de espessura e 120 kg/m<sup>3</sup> 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 lã mineral interposta entre estes e o elemento existente, de modo a constituir um elemento resiliente, tal como mostra a Figura IV.207.

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.

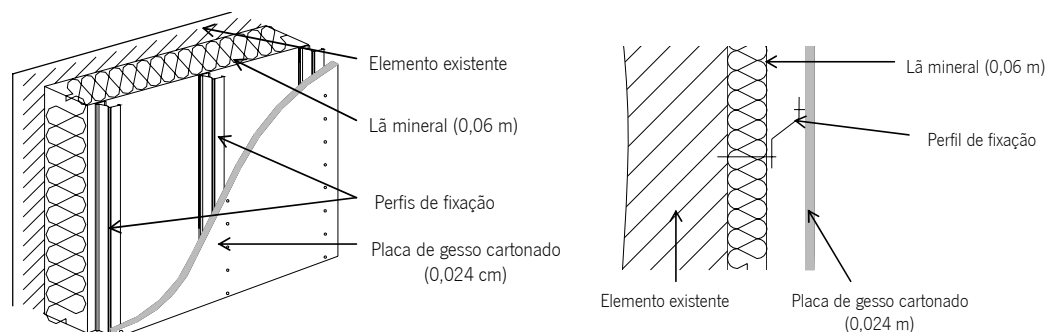


Figura IV.207 – Perspectiva da solução de reforço de isolamento acústico da parede a adoptar e pormenor de fixação das placas de gesso cartonado do pano de parede a executar à parede existente

Os dados relativos às medições realizadas são apresentados na Tabela IV.62 e na Figura IV.208.

Tabela IV.62 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav3

	Área [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Café	102,0	280,6
Estúdio	62,6	168,9

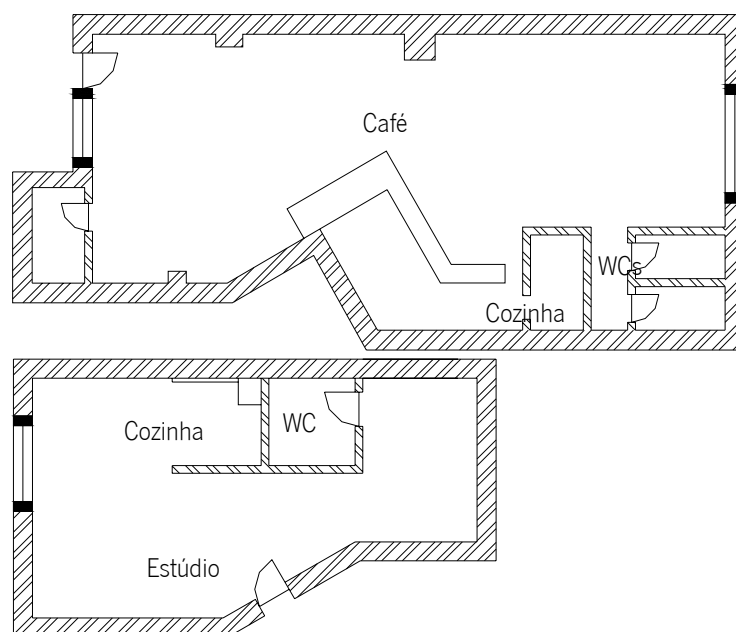


Figura IV.208 – Representação esquemática dos recintos estudados

Na Tabela IV.63, na Figura IV.209 e na Figura IV.210 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 IV.63 – 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
$D_{n,TW}$ [dB]	<b>58</b>	-	<b>61</b>	-
$L'_{n,T,W}$ [dB]	-	<b>64</b>	-	<b>54</b>

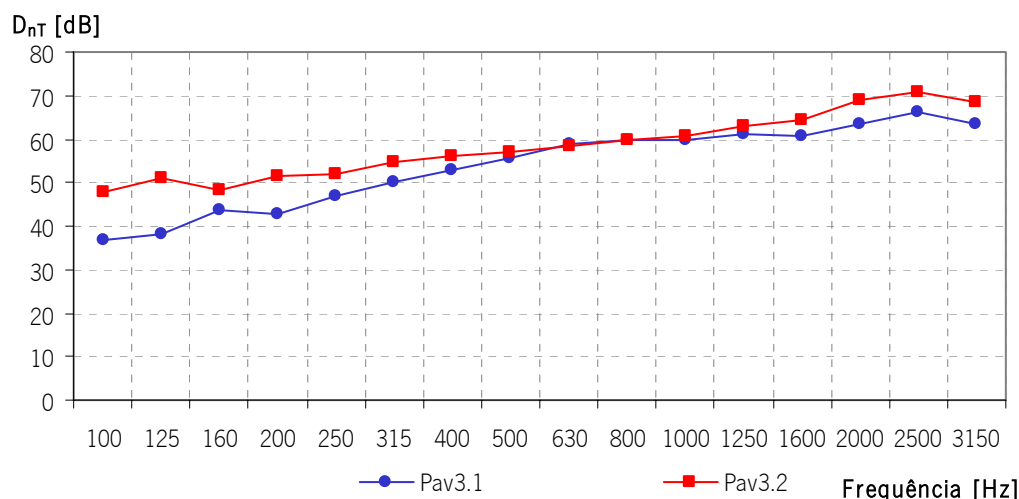


Figura IV.209 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i

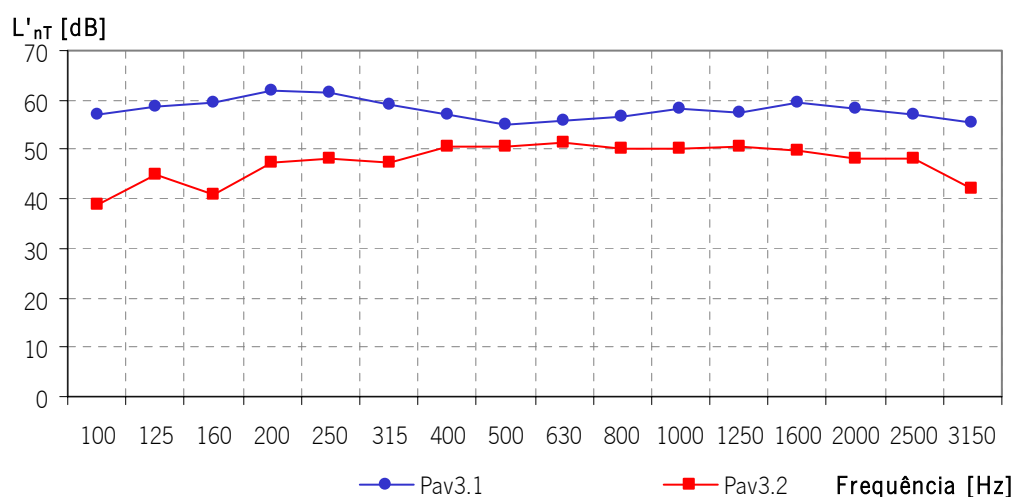


Figura IV.210 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i

Tal como a Tabela IV.63 e os gráficos da Figura IV.209 e da Figura IV.210 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 IV.211):

- 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).

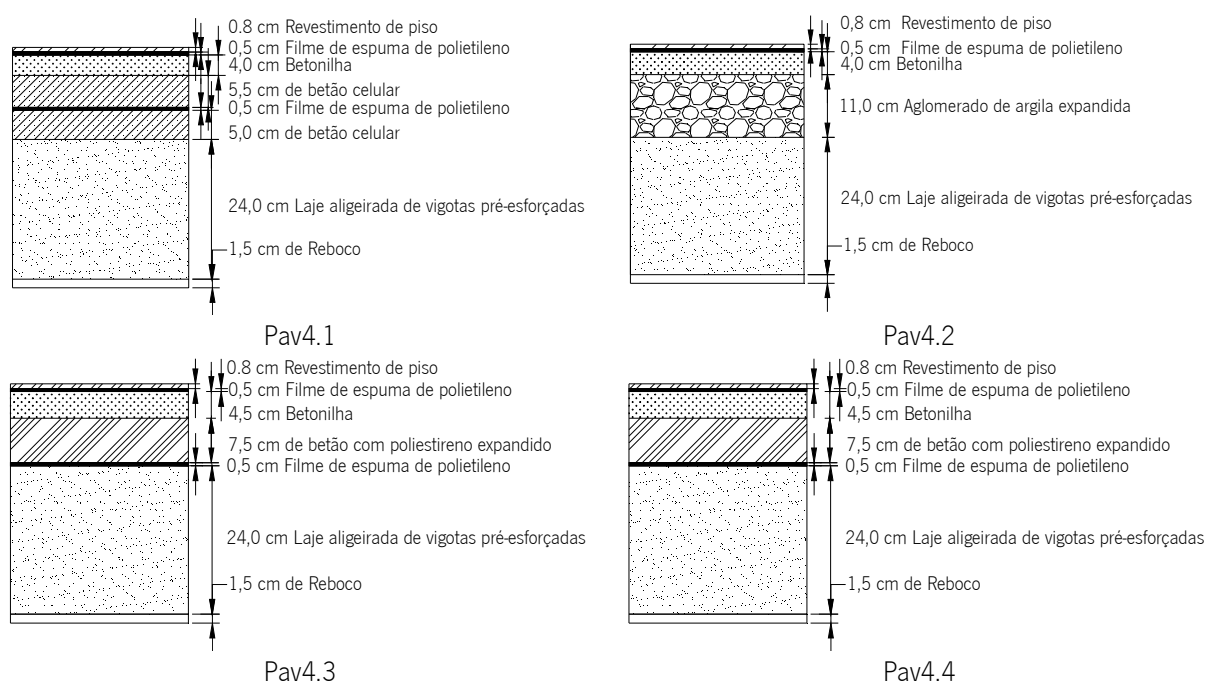


Figura IV.211 – Representação esquemática dos pavimentos tipo 4 estudados

Estes pavimentos foram estudados num conjunto de quatro edifícios de habitação unifamiliar em banda com dois andares (Tabela IV.64 e Figura IV.212). Os recintos emissores foram os quartos de casal do 1º andar e os escritórios localizados no rés-do-chão.

Tabela IV.64 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav4

	Área [m²]	Volume [m³]
Recintos emissores – Quarto de casal	13,3	32,0
Recintos receptores – Escritório	14,5	37,7



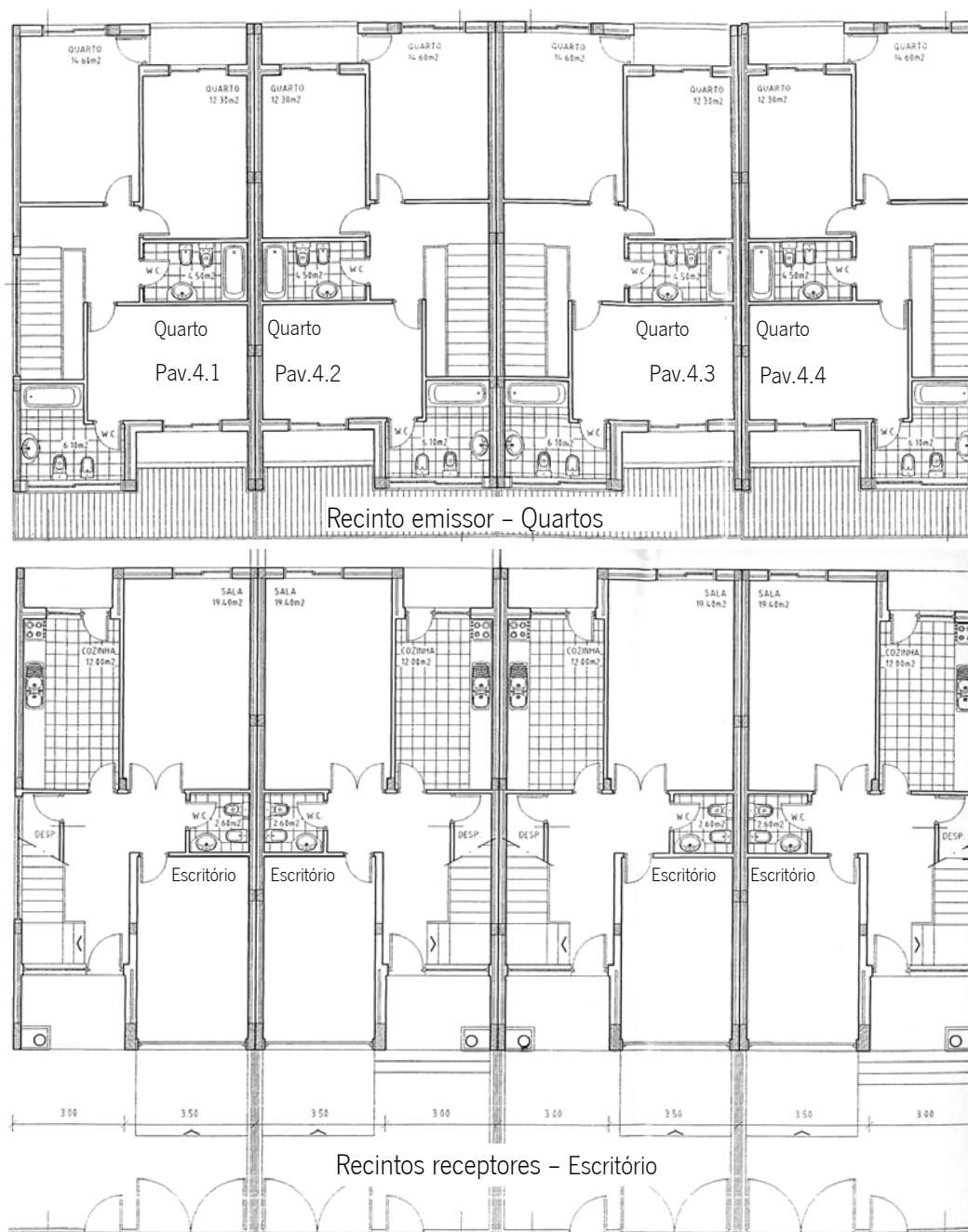


Figura IV.212 - Representação esquemática dos recintos estudados

Na Tabela IV.65 apresentam-se os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão, padronizados.

Tabela IV.65 – 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]	<b>48</b>	-	<b>43</b>	-	<b>49</b>	-	<b>53</b>	-
$L'_{nT,w}$ [dB]	-	<b>55</b>	-	<b>50</b>	-	<b>51</b>	-	<b>54</b>

Como se pode verificar através da análise da Tabela IV.65, da Figura IV.213 e da Figura IV.214 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.

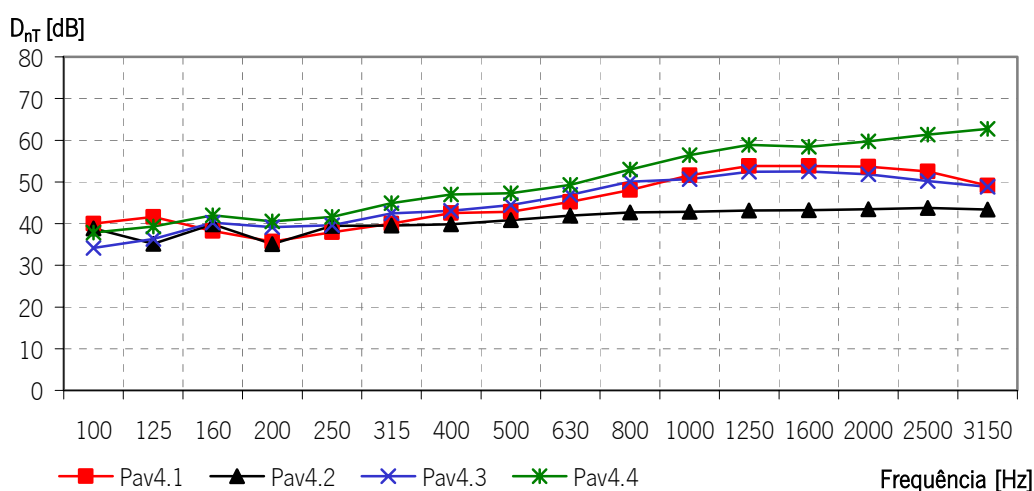


Figura IV.213 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 4 - Pav4.i

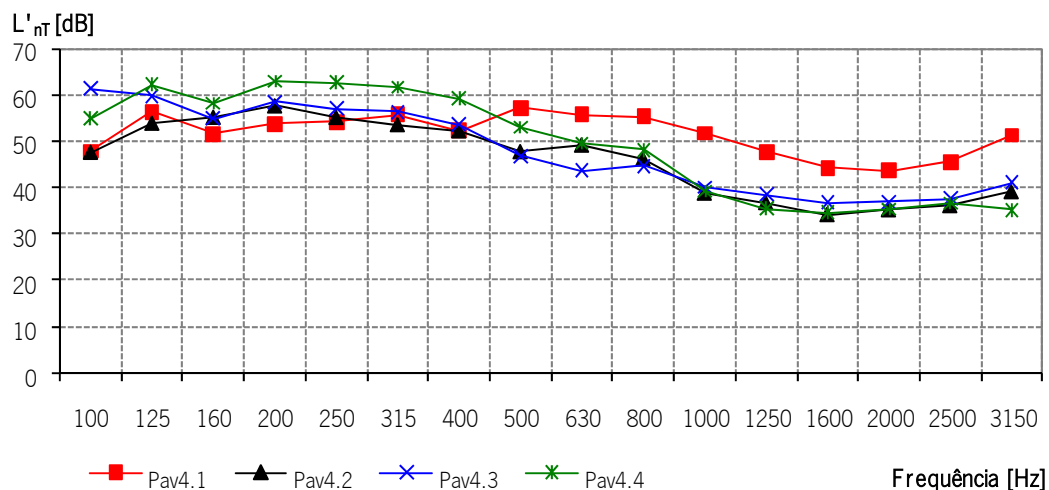


Figura IV.214 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 4 - Pav4.i

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.

Na Tabela IV.66 mostram-se as possibilidades de utilização dos pavimentos do tipo 4, face às exigências regulamentares em vigor, considerando o factor de incerteza I, somado aos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e subtraído ao índice de isolamento sonoro a sons de percussão (RRAE, 2008).

Tabela IV.66 – Potencialidades dos pavimentos do tipo 4 – Pav4.i (verifica - V e não verifica - NV o RRAE)

Isolamento acústico entre:	Requisitos regulamentares		Pavimento Tipo							
			Pav4.1		Pav4.2		Pav4.3		Pav4.4	
	$D_{nT,w}$ [dB]	$L'_{nT,w}$ [dB]	$D_{nT,w}$ [dB]	$L'_{nT,w}$ [dB]	$D_{nT,w}$ [dB]	$L'_{nT,w}$ [dB]	$D_{nT,w}$ [dB]	$L'_{nT,w}$ [dB]	$D_{nT,w}$ [dB]	$L'_{nT,w}$ [dB]
	$\geq$	$\leq$	48+3 51	55-3 52	43+3 46	50-3 47	49+3 52	51-3 48	53+3 56	54-3 51
Compartimentos de um fogo (emissor) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receptor)	50dB	60dB	V	V	NV	V	V	V	V	V
Locais de circulação comum (emissores) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receptor)	48dB	60dB	V	V	NV	V	V	V	V	V
Caminho de circulação vertical, de um edifício com ascensores (emissores) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receptor)	40dB	-	V	V	V	V	V	V	V	V
Garagens (emissores) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receptor)	50dB	-	V	V	NV	V	V	V	V	V
Locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissores) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receptor)	58dB	50dB	NV	NV	NV	V	NV	V	NV	NV

### Pavimento 5 (Pav5)

O pavimento 5, Pav5, separa fogos destinados a habitação de um espaço comercial, é constituído por uma laje aligeirada de blocos cerâmicos com 30 cm de espessura, 5 cm de camada de regularização e revestimento de piso em material cerâmico.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.67.

Tabela IV.67 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav5

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
14,6 m <sup>2</sup>	37,2 m <sup>3</sup>	332,5 m <sup>3</sup>

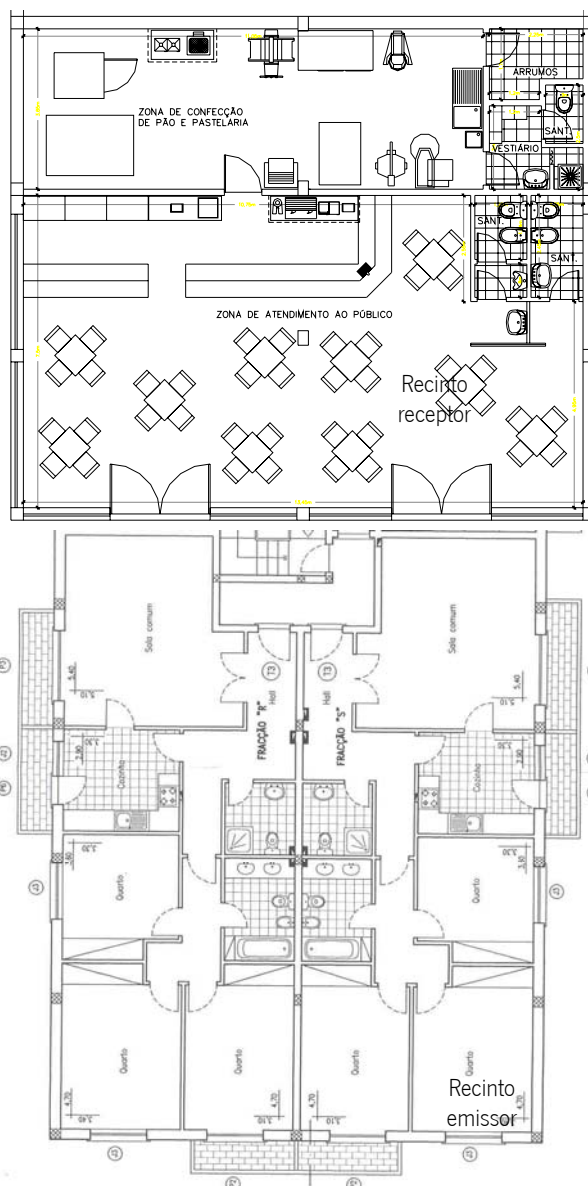


Figura IV.215 – Representação esquemática dos recintos estudados

Na tabela e no gráfico da Figura IV.216 e da Figura IV.217 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 5, Pav5.

Freq.	$D_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	36,7
125	38,4
160	36,1
200	36,8
250	38,5
315	39,8
400	42,0
500	45,1
630	46,2
800	50,6
1000	53,9
1250	55,8
1600	56,7
2000	58,6
2500	59,8
3150	61,1
$D_{nT,w}$	<b>49 dB</b>

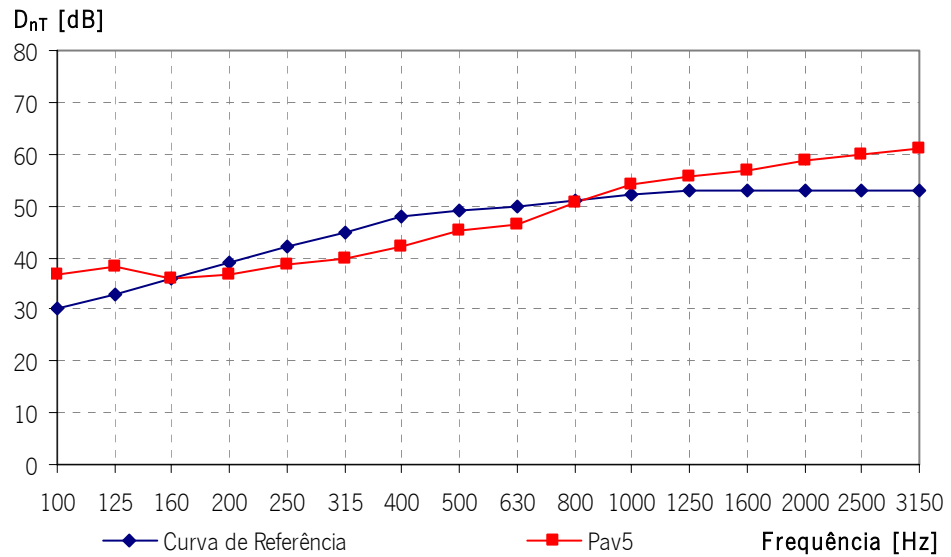


Figura IV.216 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 5, Pav5

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) do pavimento 5, Pav5, é de 49 dB, tal como mostra a Figura IV.216.

Freq.	$L'_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	59,4
125	58,9
160	60,0
200	61,1
250	63,0
315	60,4
400	58,7
500	54,0
630	51,1
800	48,3
1000	49,0
1250	48,0
1600	46,3
2000	41,9
2500	39,0
3150	36,8
$L'_{nT,w}$	<b>55 dB</b>

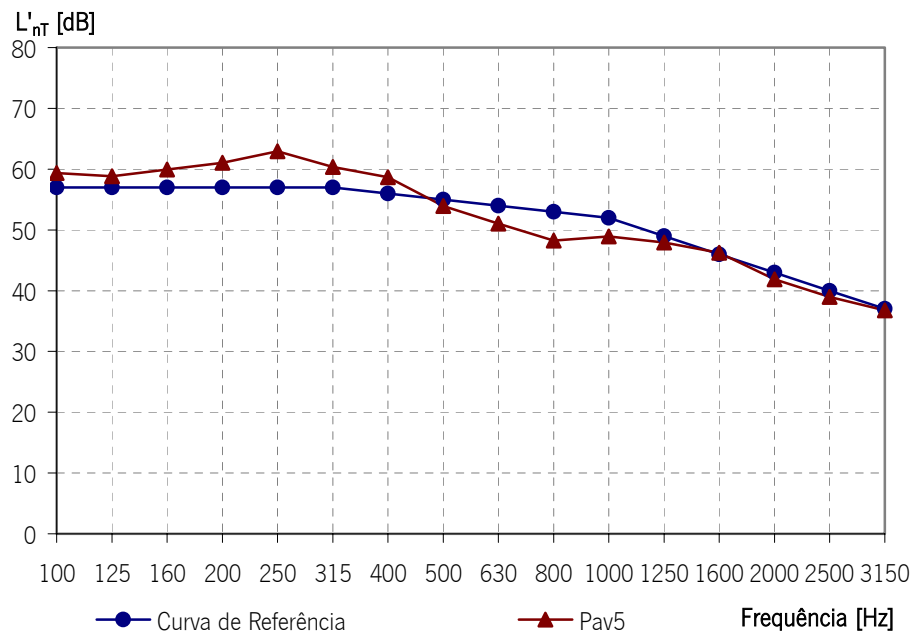


Figura IV.217 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 5, Pav5

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ( $L'_{nt,w}$ ) do pavimento 5, Pav5, é de 55 dB, tal como mostra a Figura IV.217.

### Pavimento 6 (Pav6)

A laje estuda, Pav6, da é do tipo aligeirada com blocos de aligeiramento de 21 cm de altura e 4 cm de camada de compressão, sobre esta camada existe uma outra de betonilha com 6 cm de espessura, camada resiliente com 1 cm, sobre o qual está assente uma lajeta flutuante com 7 cm, sendo o revestimento de piso, com 3 mm, de madeira.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.68 e na Figura IV.218.

Tabela IV.68 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav6

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
6,1 m <sup>2</sup>	14,1 m <sup>3</sup>	14,1 m <sup>3</sup>

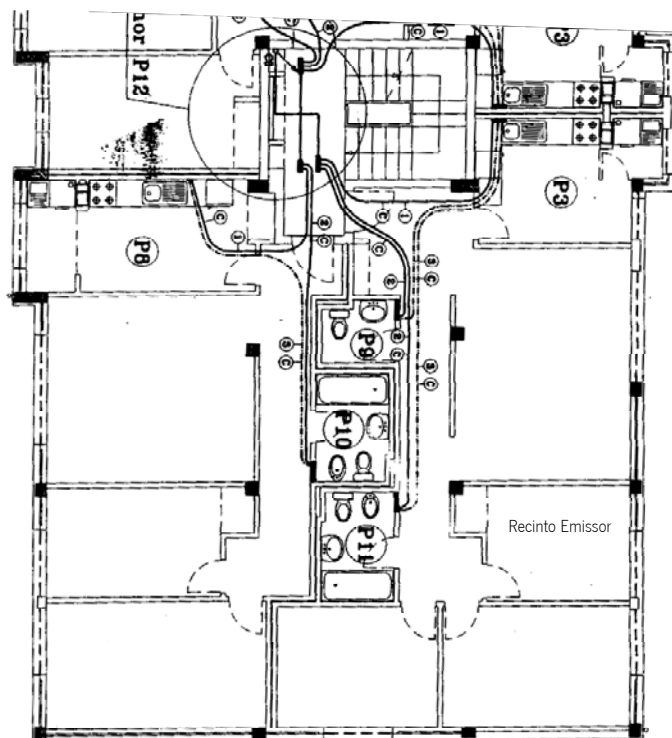


Figura IV.218 – Representação esquemática do recinto estudado

Na tabela e no gráfico das Figura IV.219 e da Figura IV.220 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 6, Pav6.

Freq.	$D_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	38,6
125	39,1
160	42,0
200	40,6
250	41,2
315	43,5
400	44,5
500	43,6
630	45,7
800	49,6
1000	53,7
1250	55,8
1600	56,8
2000	57,6
2500	59,2
3150	61,1
$D_{nT,w}$	<b>51 dB</b>

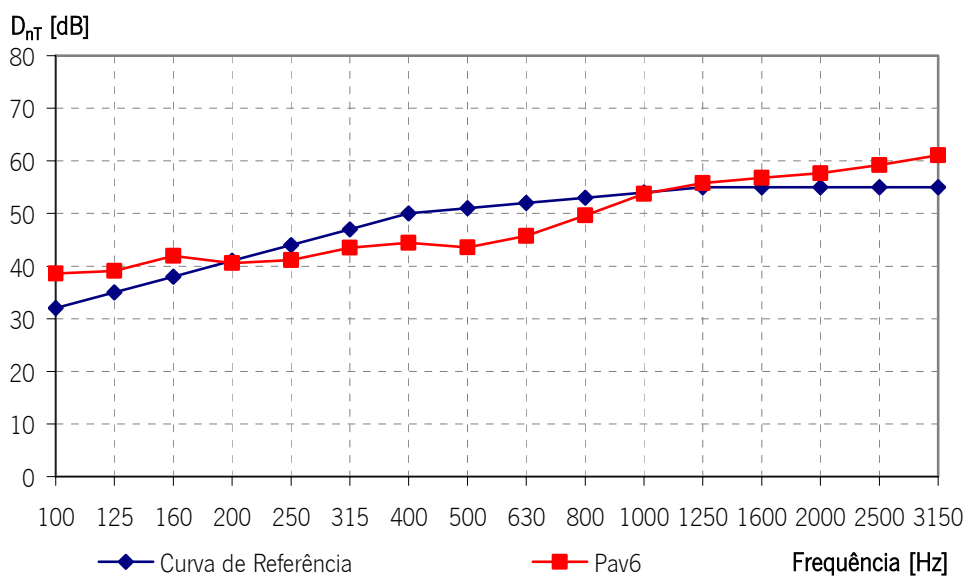


Figura IV.219 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 6, Pav6

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) do pavimento 6, Pav6, é de 51 dB, tal como mostra a Figura IV.219.

Freq.	$L'_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	48,9
125	57,1
160	52,7
200	57,9
250	57,3
315	56,6
400	54,9
500	49,7
630	46,0
800	45,0
1000	35,9
1250	32,5
1600	30,4
2000	31,3
2500	32,8
3150	31,1
$L'_{nT,w}$	<b>50 dB</b>

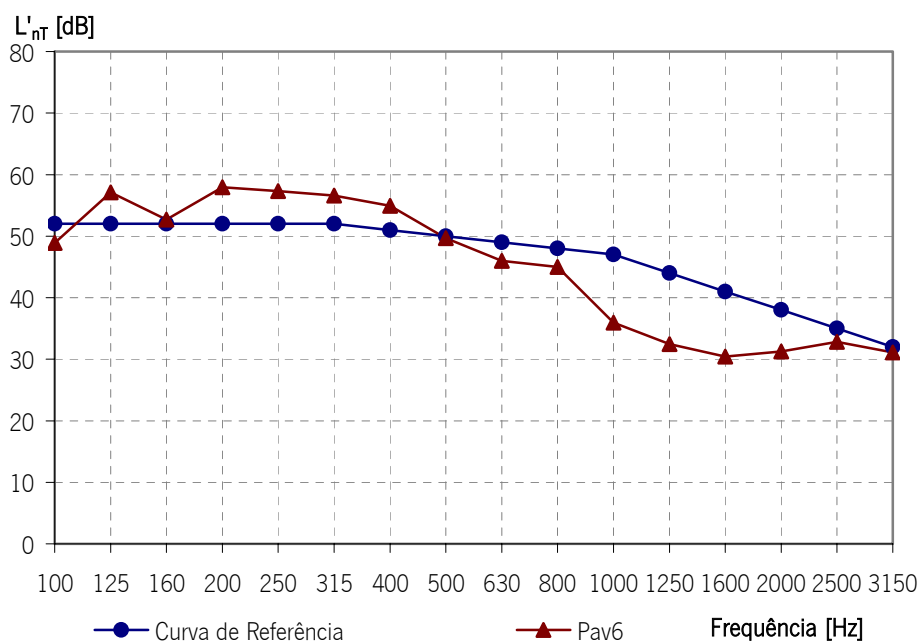


Figura IV.220 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 6, Pav6

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ( $L'_{nt,w}$ ) do pavimento 6, Pav6, é de 50 dB, tal como mostra a Figura IV.220.

### Pavimento 7 (Pav7)

A laje estudada, pavimento 7 (Pav7), é do tipo aligeirada com blocos de aligeiramento de 30 cm de altura e 5 cm de camada de compressão, sobre esta camada existe um elemento resiliente, à base de espuma de polietileno, com 5 mm de espessura e um material composto sobre o qual é assente o revestimento de piso de 7 mm em madeira.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.69 e na Figura IV.221.

Tabela IV.69 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav7

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
16,3 m <sup>2</sup>	42,4 m <sup>3</sup>	42,4 m <sup>3</sup>

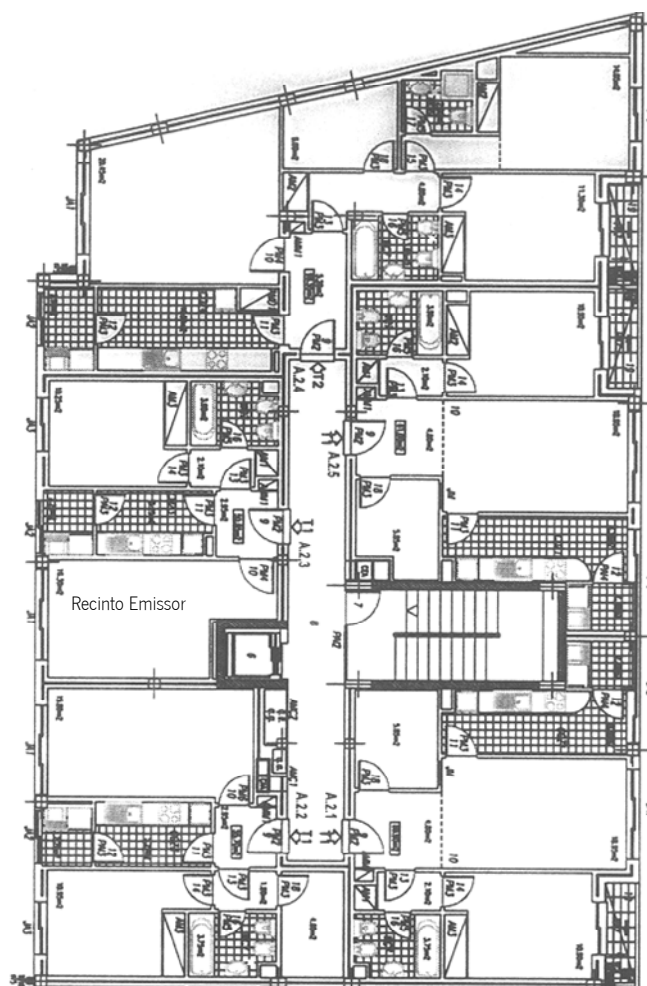


Figura IV.221 – Representação esquemática do recinto estudado

Na tabela e no gráfico da Figura IV.222 e da Figura IV.223 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 7, Pav7.



Freq.	$D_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	37,0
125	32,9
160	36,0
200	40,8
250	43,6
315	45,4
400	44,8
500	47,2
630	49,1
800	51,5
1000	53,8
1250	55,5
1600	56,2
2000	57,8
2500	59,5
3150	59,5
$D_{nT,w}$	<b>52 dB</b>

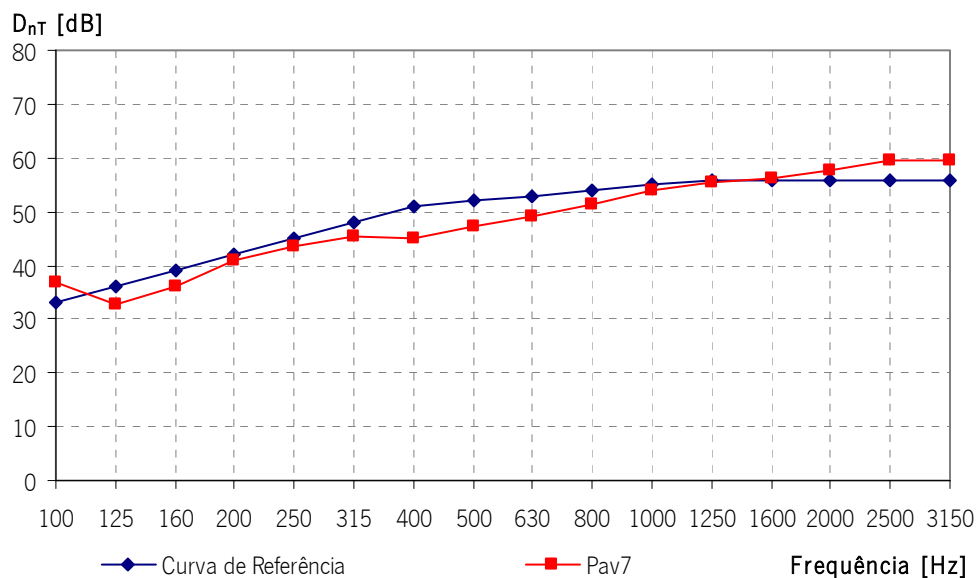


Figura IV.222 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 7, Pav7

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) do pavimento 7, Pav7, é de 52 dB, tal como mostra a Figura IV.222.

Freq.	$L'_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	55,2
125	61,2
160	61,5
200	61,6
250	60,2
315	62,4
400	57,4
500	50,7
630	45,1
800	43,2
1000	38,5
1250	35,8
1600	33,7
2000	33,3
2500	33,5
3150	33,9
$L'_{nT,w}$	<b>54 dB</b>

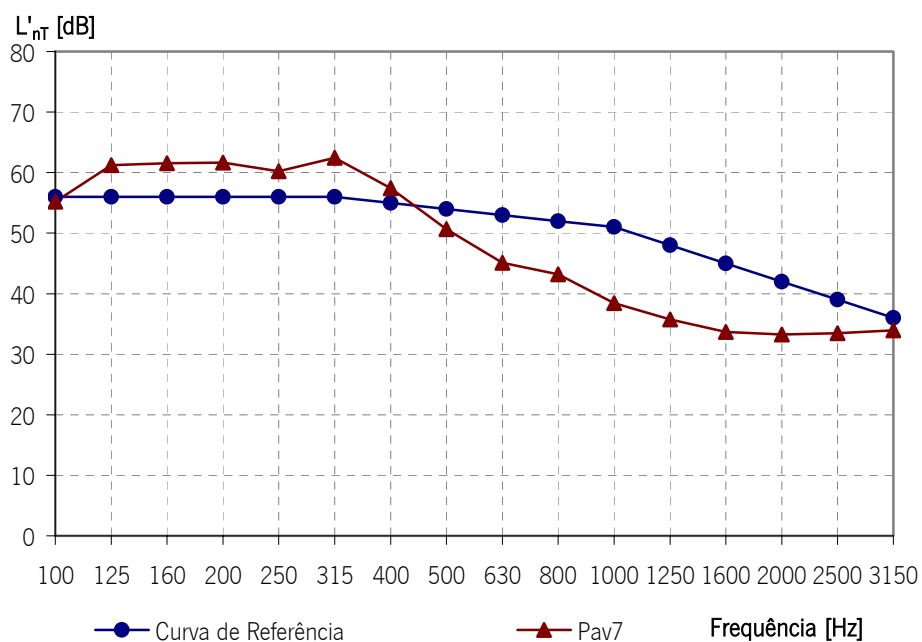


Figura IV.223 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 7, Pav7

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ( $L'_{nt,w}$ ) do pavimento 7, Pav7, é de 54 dB, tal como mostra a Figura IV.223.

### Pavimento 8 (Pav8)

O pavimento 8, Pav8 é constituído por uma laje aligeirada com abobadilha cerâmica com 30 cm de altura e 5 cm de camada de compressão, o revestimento de piso, de 7 mm, é de madeira e o revestimento inferior é constituído por 2 cm de estuque.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Figura IV.224 e na Tabela IV.70.

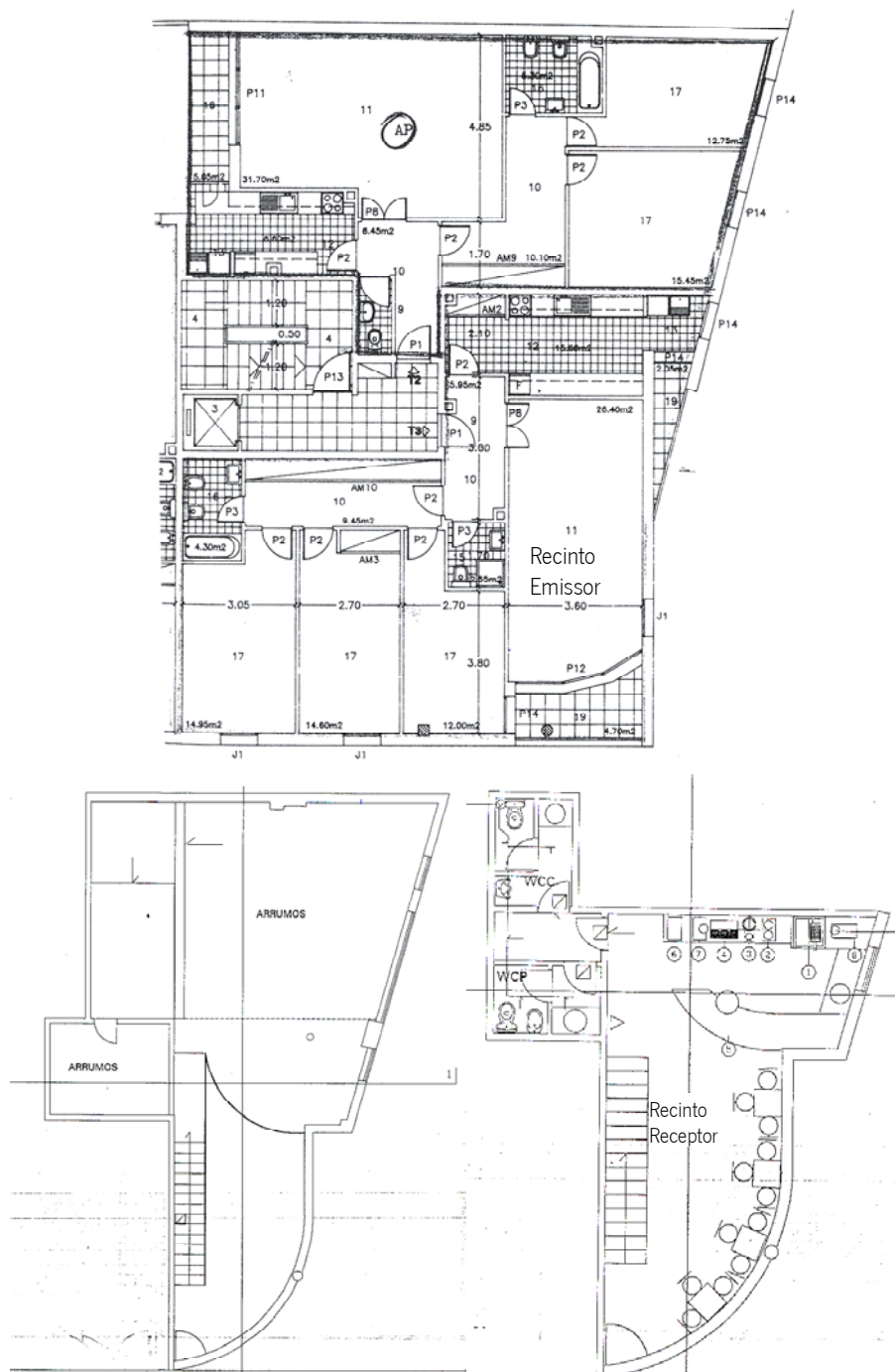


Figura IV.224 - Representação esquemática do recinto estudado

Tabela IV.70 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav8

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
26,4 m <sup>2</sup>	68,6 m <sup>3</sup>	397,4 m <sup>3</sup>

Na tabela e no gráfico da Figura IV.225 e da Figura IV.226 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 8, Pav8.

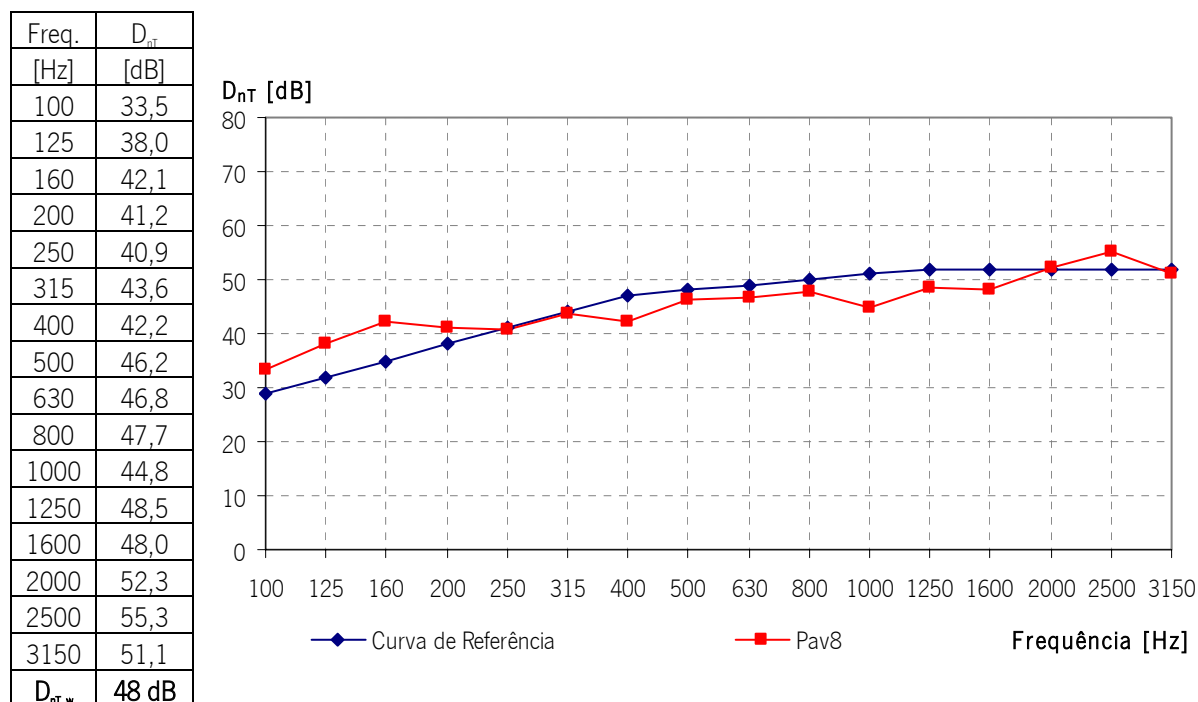


Figura IV.225 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 8, Pav8

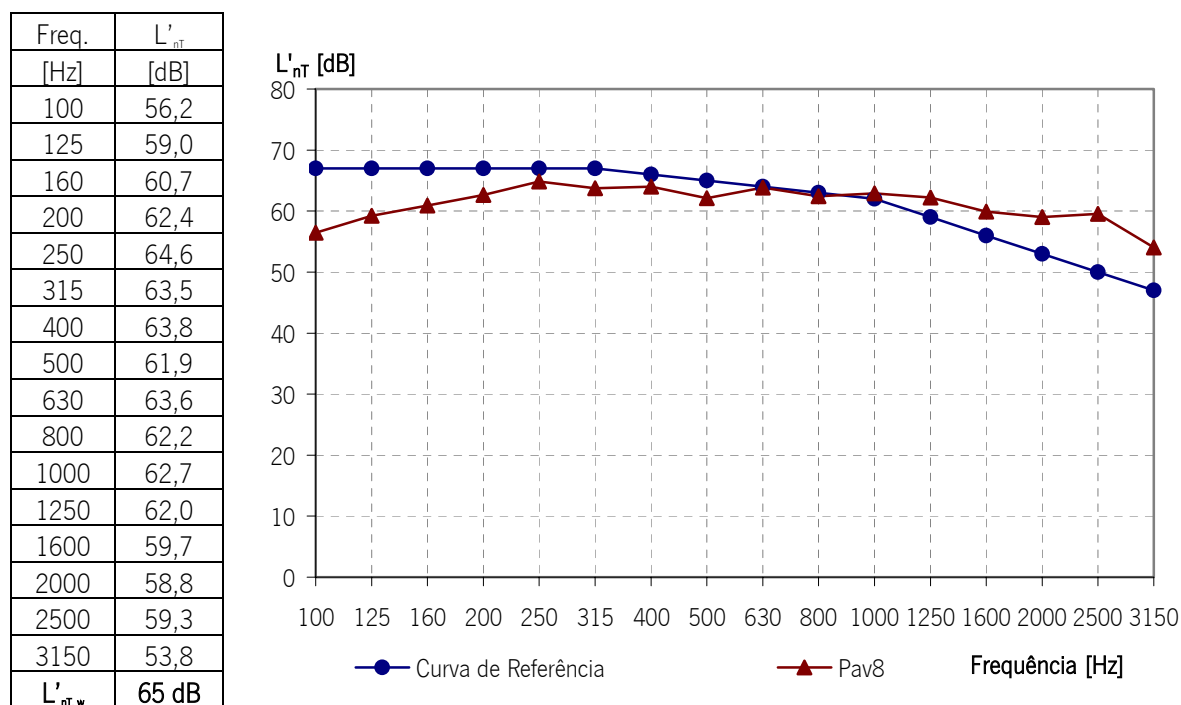


Figura IV.226 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 8, Pav8

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) do pavimento 8, Pav8, é de 48 dB, tal como mostra a Figura IV.225. O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ( $L'_{nT,w}$ ) do pavimento 8, Pav8, é de 65 dB, tal como mostra a Figura IV.223.

### Pavimento 9 (Pav9)

O pavimento 9, Pav9, é constituído por uma laje aligeirada com abobadilha cerâmica com 30 cm de altura e 5 cm de camada de compressão, o revestimento de piso, de 7 mm, é de material cerâmico e o revestimento inferior é constituído por 2 cm de reboco.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.71 e na Figura IV.227.

Tabela IV.71 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav9

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
19,7 m <sup>2</sup>	59,1 m <sup>3</sup>	519,0 m <sup>3</sup>

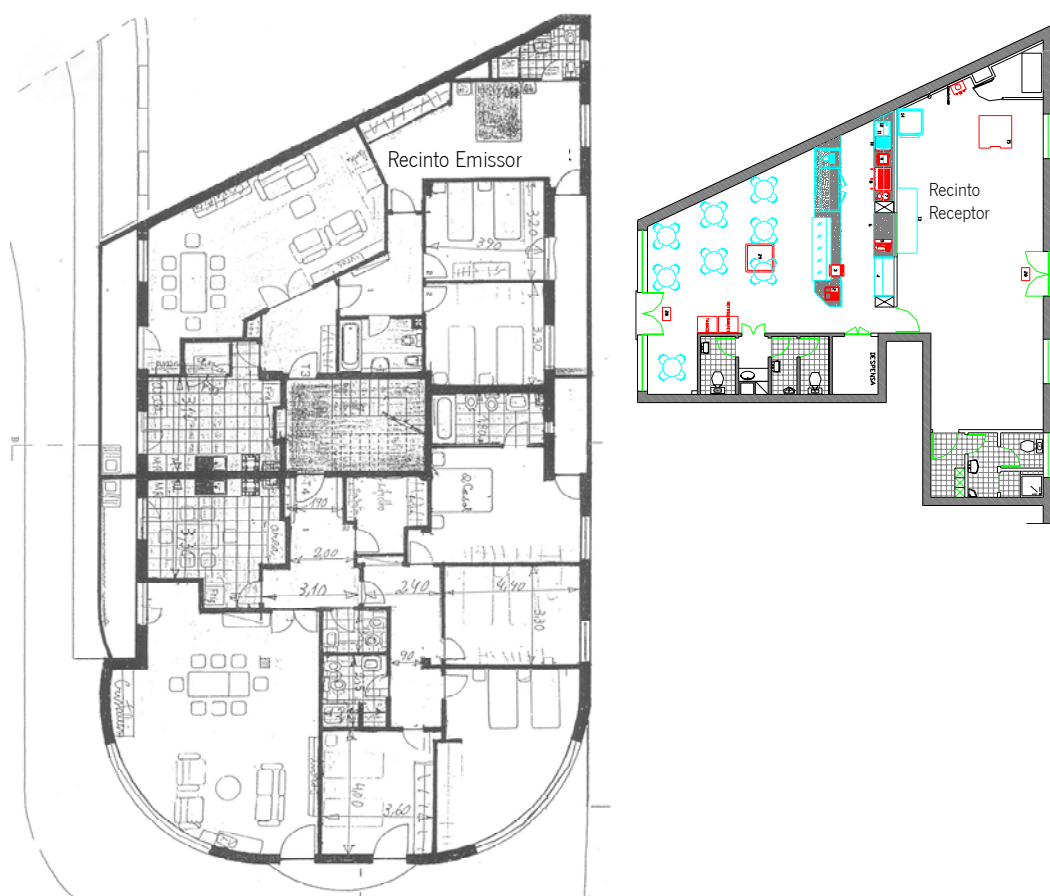


Figura IV.227 – Representação esquemática dos recintos estudados

Na tabela e no gráfico da Figura IV.228 e da Figura IV.229 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 9, Pav9.

Freq.	$D_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	38,2
125	40,8
160	45,1
200	44,9
250	46,5
315	46,9
400	45,6
500	48,9
630	52,0
800	52,1
1000	51,9
1250	53,4
1600	53,7
2000	50,3
2500	50,1
3150	49,2
$D_{nT,w}$	<b>51 dB</b>

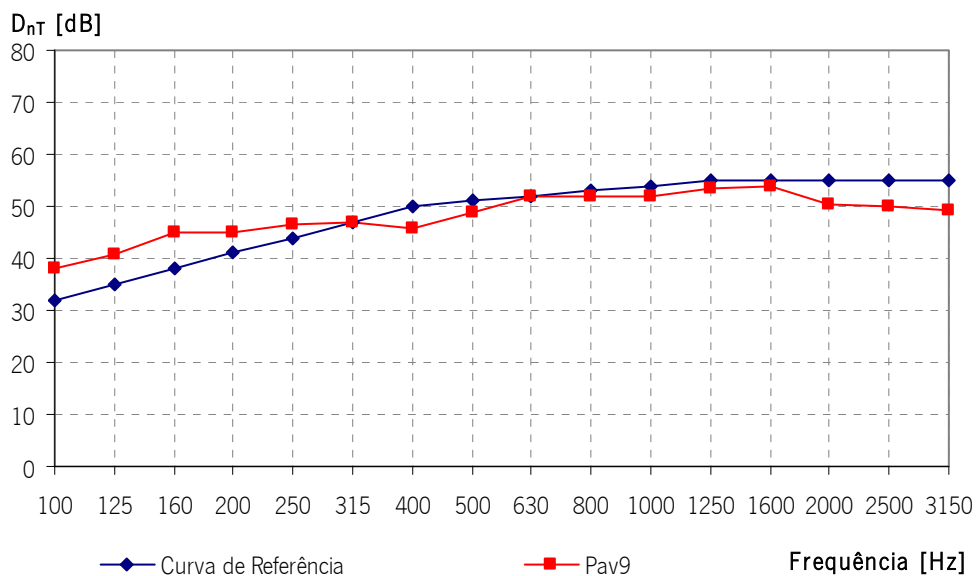


Figura IV.228 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 9, Pav9

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) do pavimento 9, Pav9, é de 51 dB, tal como mostra a Figura IV.228.

Freq.	$L'_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	47,2
125	47,7
160	52,3
200	51,3
250	55,4
315	61,3
400	60,7
500	61,7
630	61,4
800	61,5
1000	62,3
1250	63,6
1600	63,0
2000	61,4
2500	60,4
3150	55,6
$L'_{nT,w}$	<b>67 dB</b>

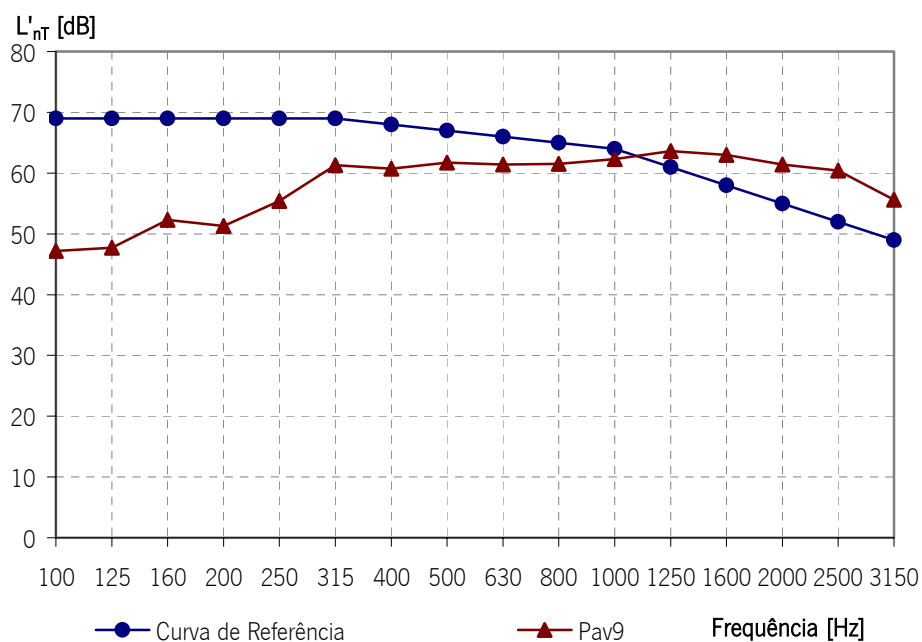


Figura IV.229 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 9, Pav9

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ( $L'_{nt,w}$ ) do pavimento 9, Pav9, é de 67 dB, tal como mostra a Figura IV.229.

### Pavimento 10 (Pav10)

O pavimento 10, Pav10, é constituído por uma laje aligeirada com abobadilha cerâmica com 30 cm de altura e 5 cm de camada de compressão, o revestimento de piso, de 7 mm, é de material cerâmico e o revestimento inferior é constituído por 2 cm de reboco.

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.72 e na Figura IV.230.

Tabela IV.72 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav10

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
34,7 m <sup>2</sup>	86,3 m <sup>3</sup>	85,9 m <sup>3</sup>

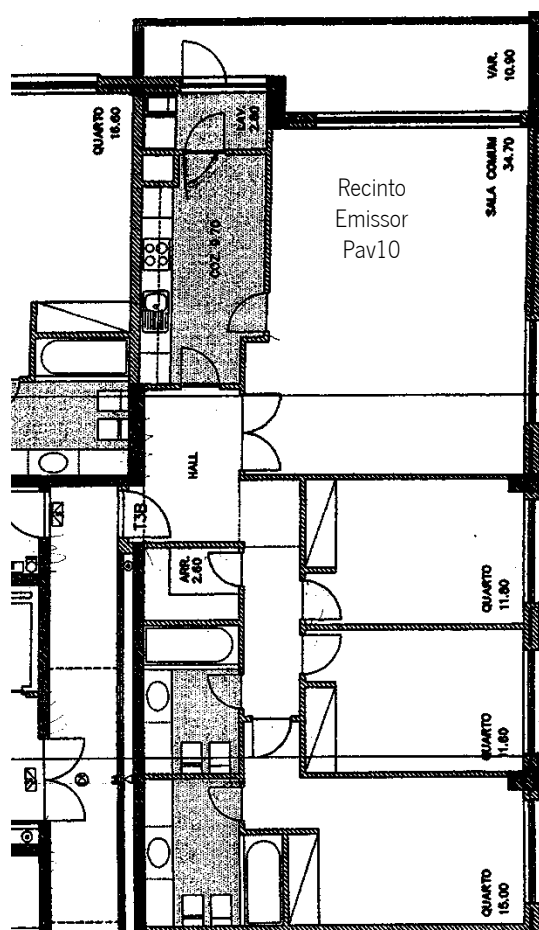


Figura IV.230 – Representação esquemática dos recintos estudados (o recinto emissor e o recinto receptor são iguais)

Na tabela e no gráfico da Figura IV.231 e da Figura IV.232 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 10, Pav10.

Freq.	$D_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	40,9
125	41,6
160	44,0
200	46,8
250	47,4
315	48,8
400	49,9
500	52,5
630	53,1
800	54,6
1000	57,3
1250	57,4
1600	57,0
2000	57,6
2500	59,3
3150	61,7
$D_{nT,w}$	<b>56 dB</b>

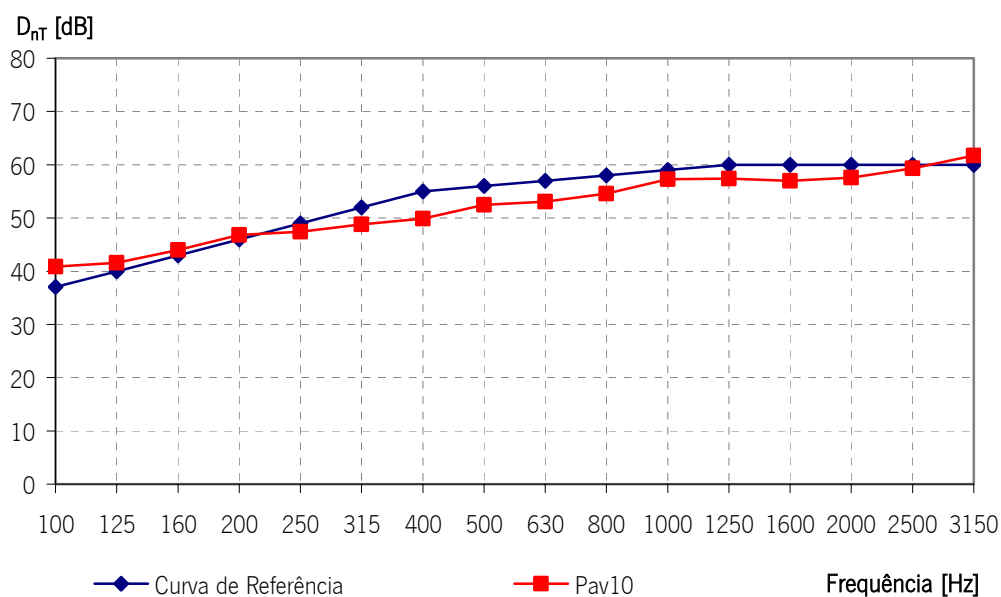


Figura IV.231 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 10, Pav10

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) do pavimento 10, Pav10, é de 56 dB, tal como mostra a Figura IV.231.

Freq.	$L'_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	51,4
125	55,9
160	56,1
200	57,5
250	57,5
315	59,4
400	62,5
500	65,3
630	66,6
800	67,5
1000	68,4
1250	70,0
1600	73,2
2000	72,6
2500	69,2
3150	64,6
$L'_{nT,w}$	<b>76 dB</b>

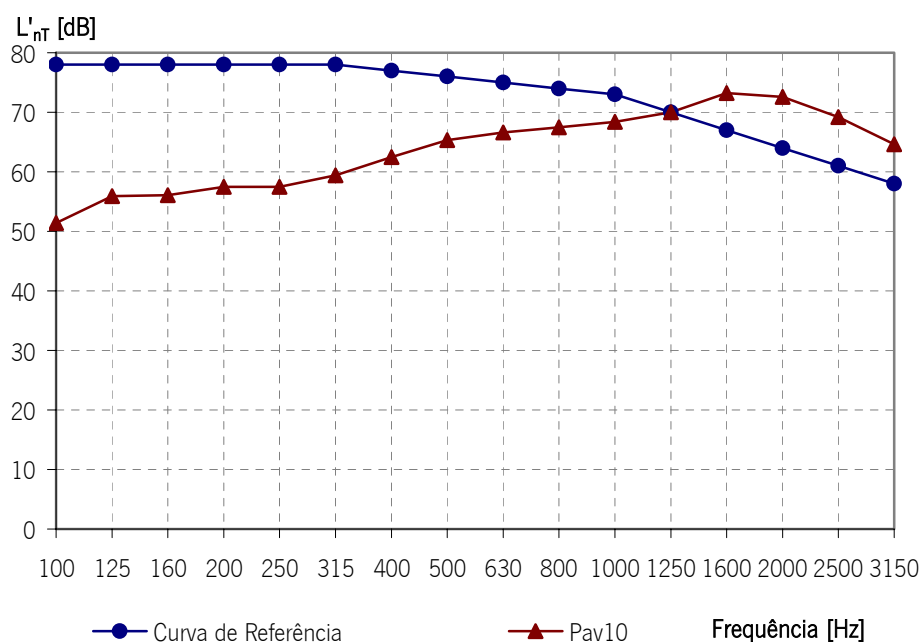


Figura IV.232 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 10, Pav10

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão ( $L'_{nT,w}$ ) do pavimento 10, Pav10, é de 76 dB, tal como mostra a Figura IV.232.

### 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 IV.73 e na Figura IV.233.

Tabela IV.73 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav11

Elemento Construtivo	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor	Receptor
Pav11.1	34,3 m <sup>2</sup>	89,1 m <sup>3</sup>	89,1 m <sup>3</sup>
Pav11.2	5,1	12,3	12,3

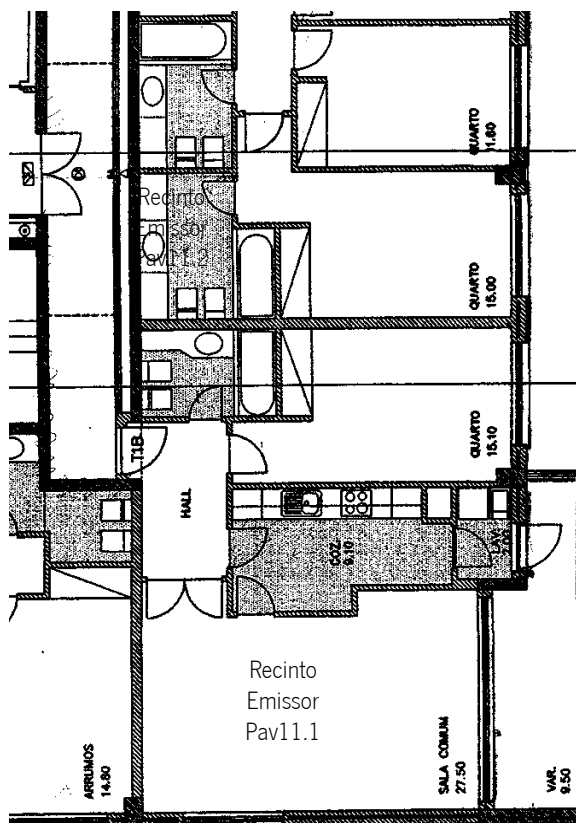


Figura IV.233 – Representação esquemática dos recintos estudados (o recinto emissor e o recinto receptor são iguais)

Na Tabela IV.74, na Figura IV.234 e na Figura IV.235 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 IV.74 - 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
$D_{n,Tw}$ [dB]	41	-	57	-
$L'_{nT,w}$ [dB]	-	65	-	65

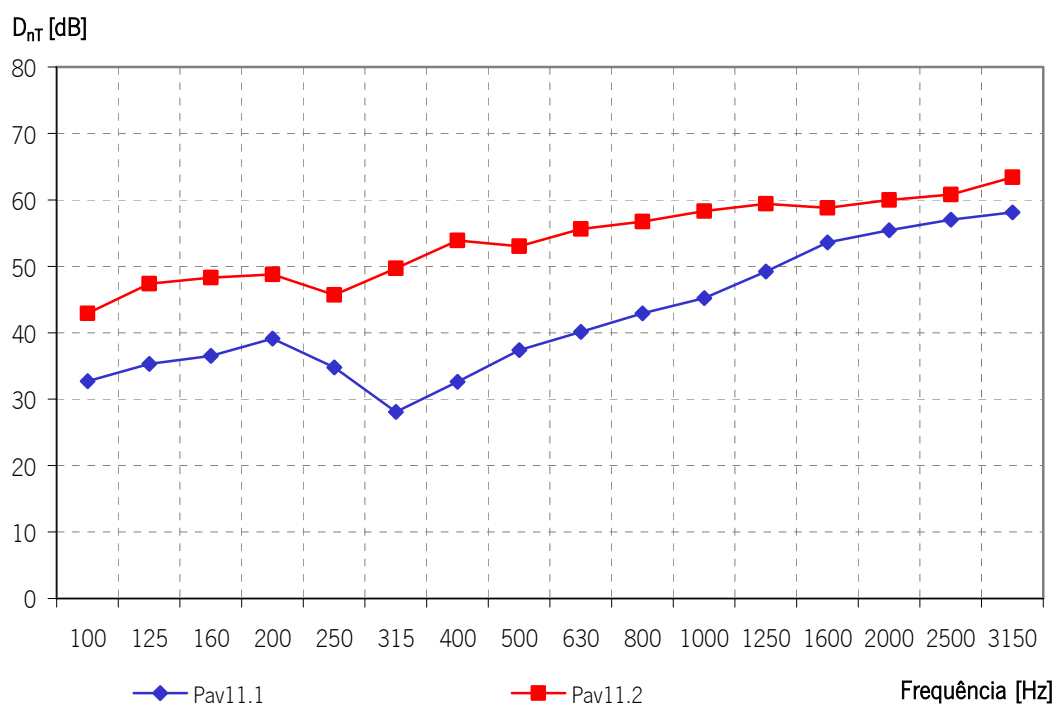


Figura IV.234 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea dos quatro tipos de pavimento 11 - Pav11.i

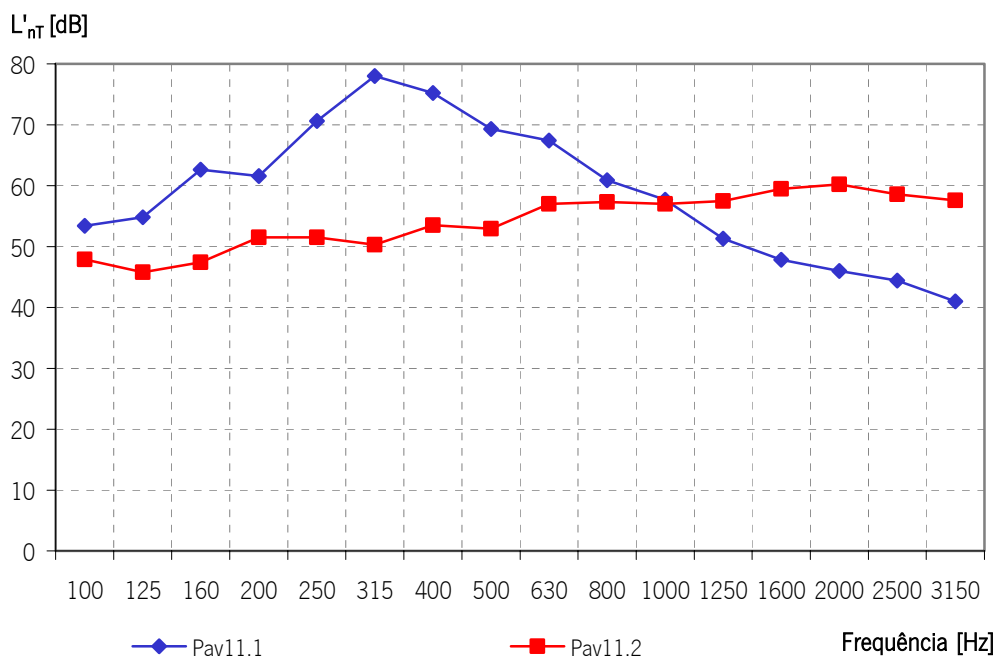


Figura IV.235 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 3 – Pav3.i

Tal como a Tabela IV.74 e os gráficos da Figura IV.234 e da Figura IV.235 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 IV.75 e na Figura IV.236.

Tabela IV.75 – 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 <sup>2</sup>	33,7 m <sup>3</sup>	187,7 m <sup>3</sup>

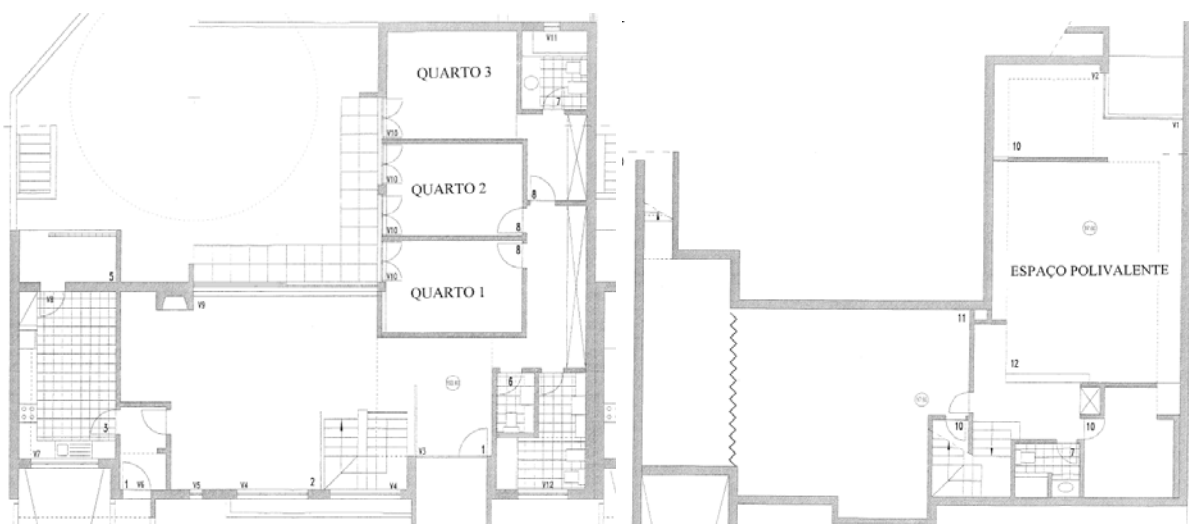


Figura IV.236 – Representação esquemática dos recintos estudados

Na tabela e no gráfico da Figura IV.237 e da Figura IV.238 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

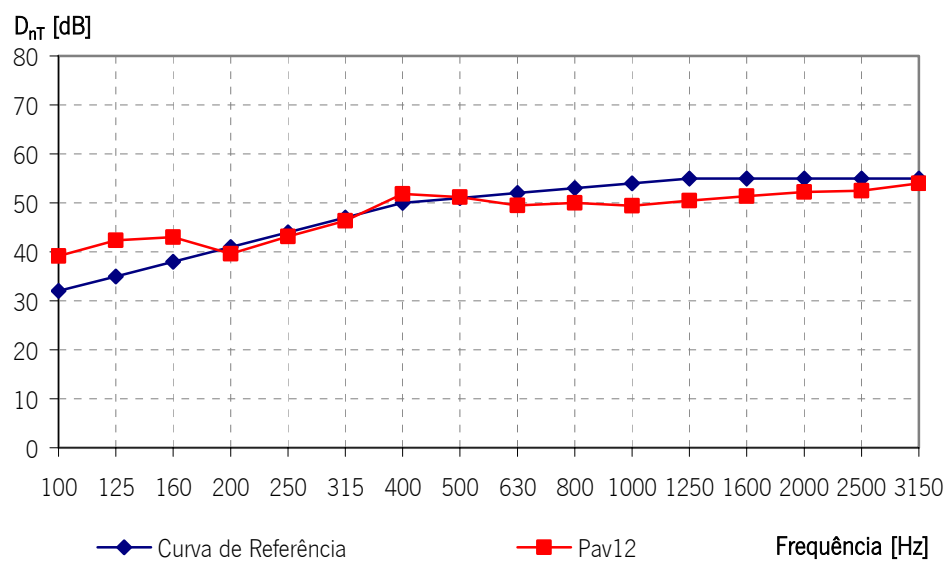


Figura IV.237 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 12, Pav12

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 IV.237.

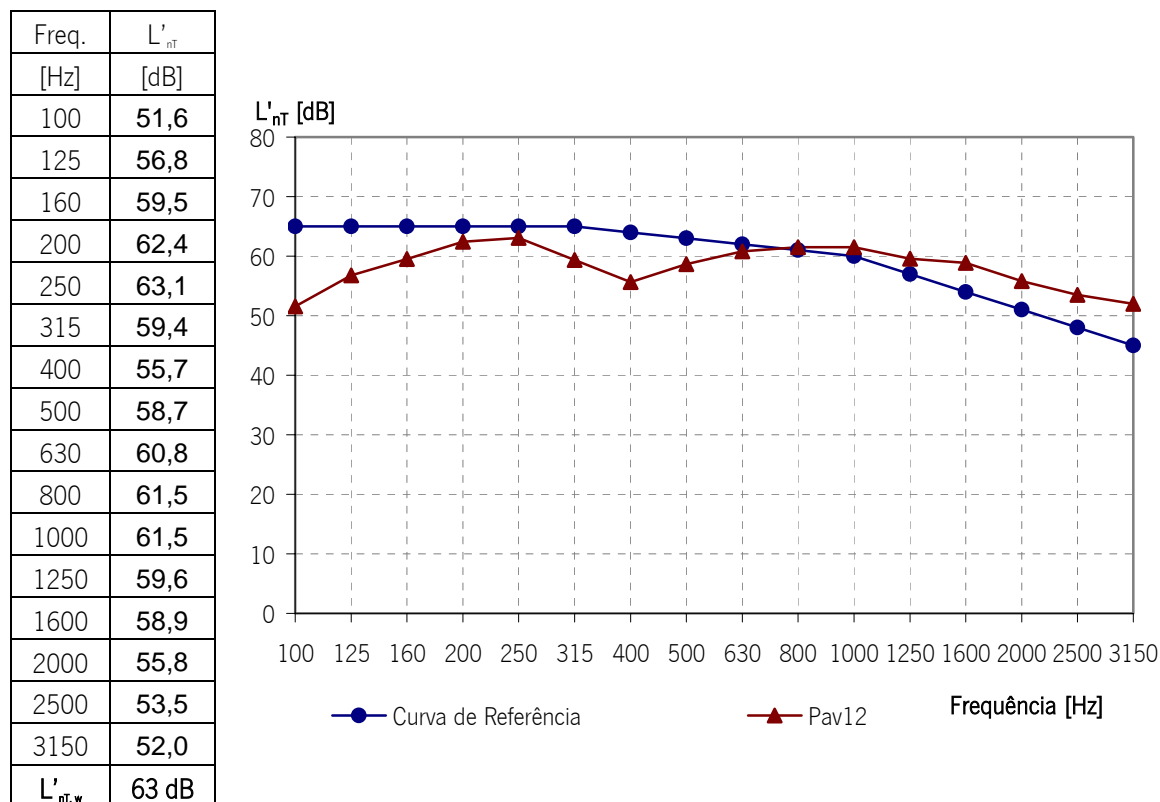


Figura IV.238 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 12, Pav12

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 IV.238.

### 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 IV.239, o 2º tipo de revestimento de piso é um material cerâmico ou pétreo, Pav13.2, como se apresenta na Figura IV.239.

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 IV.239).

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.

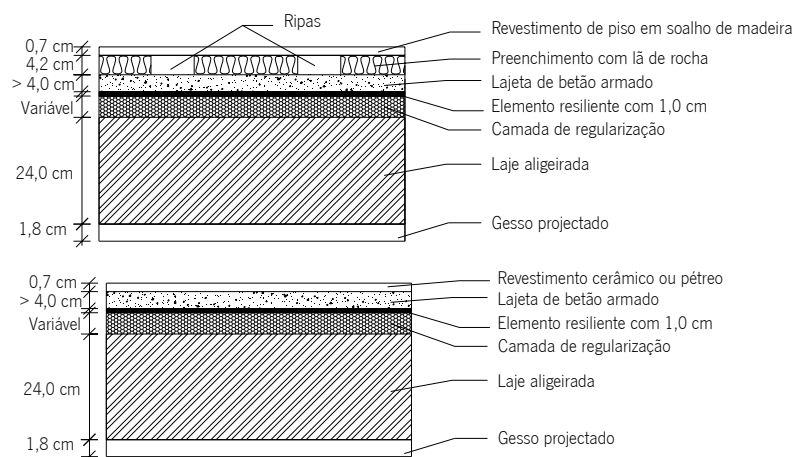


Figura IV.239 – Pavimento de separação entre duas habitações com soalho de madeira e com material cerâmico ou pétreo – Pav13.1 e Pav13.2

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.76 e na Figura IV.240.

Tabela IV.76 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav.13

Pavimento	Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
		Emissor	Receptor
Pav13.1	10,9 m <sup>2</sup>	27,3 m <sup>3</sup>	27,3 m <sup>3</sup>
Pav13.2	12,8	32,0	70,35

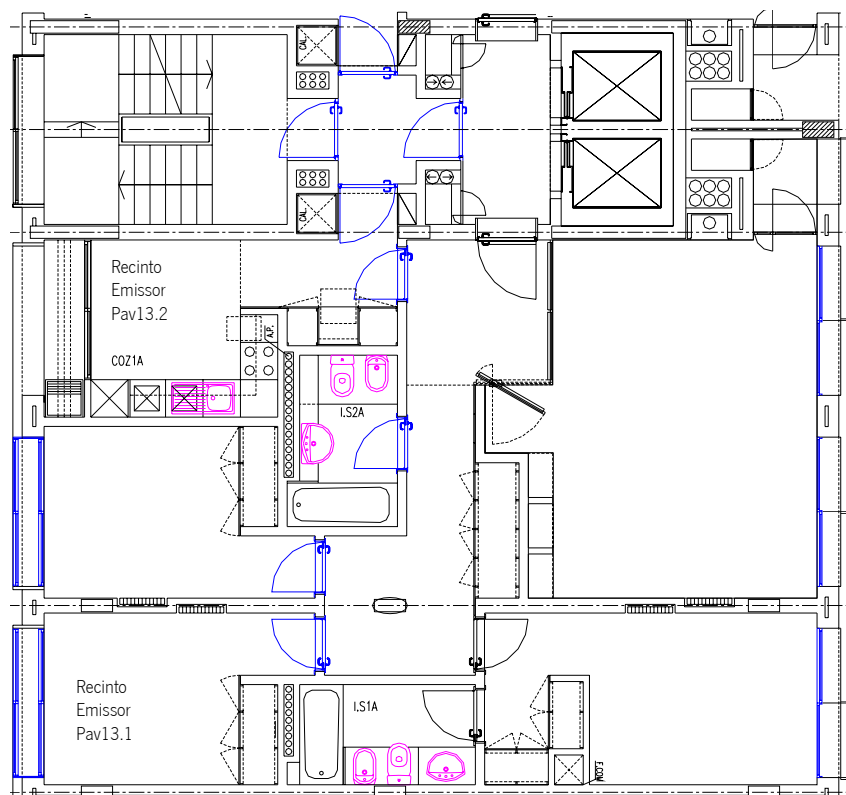


Figura IV.240 – Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento do pavimento – Pav.13 (o recinto emissor e o recinto receptor são iguais)

Na Tabela IV.77, na Figura IV.241 e na Figura IV.242 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão do pavimento Pav.13.

Tabela IV.77 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav13.1 e Pav13.2

Frequência [Hz]	Pav13.1		Pav13.2	
	$D_{nr}$ [dB]	$L'_{nr}$ [dB]	$D_{nr}$ [dB]	$L'_{nr}$ [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
$D_{n,T,w}$ [dB]	49	-	62	-
$L'_{n,T,w}$ [dB]	-	48	-	50

Tal como mostram a Tabela IV.77 e o gráfico da Figura IV.241 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.

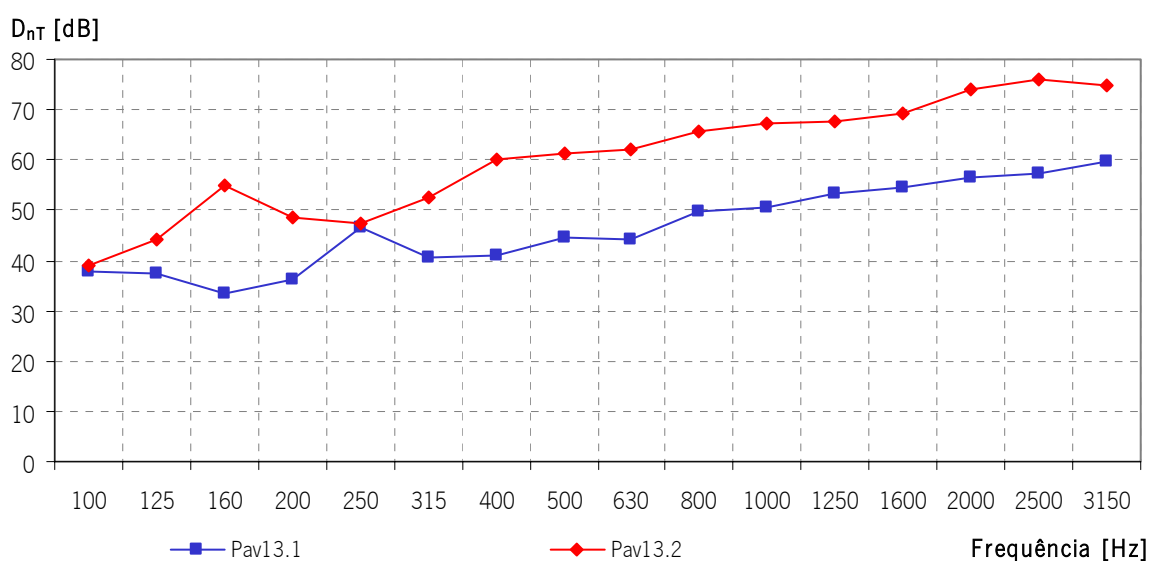


Figura IV.241 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav13.1 e Pav13.2

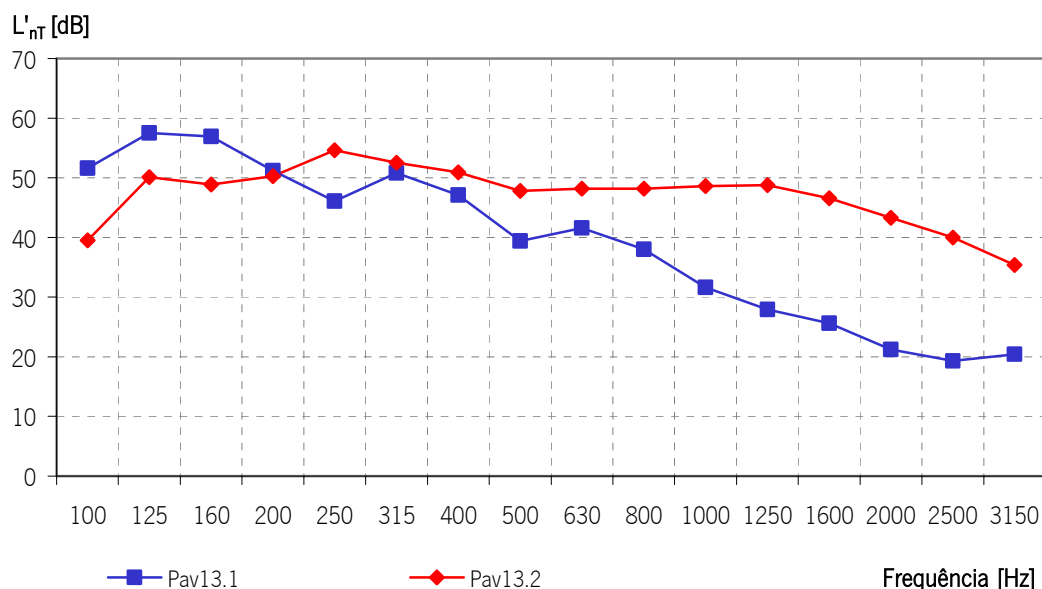


Figura IV.242 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos Pav2.1 e Pav2.2

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 IV.77 e o gráfico da Figura IV.242.

#### 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 IV.243).

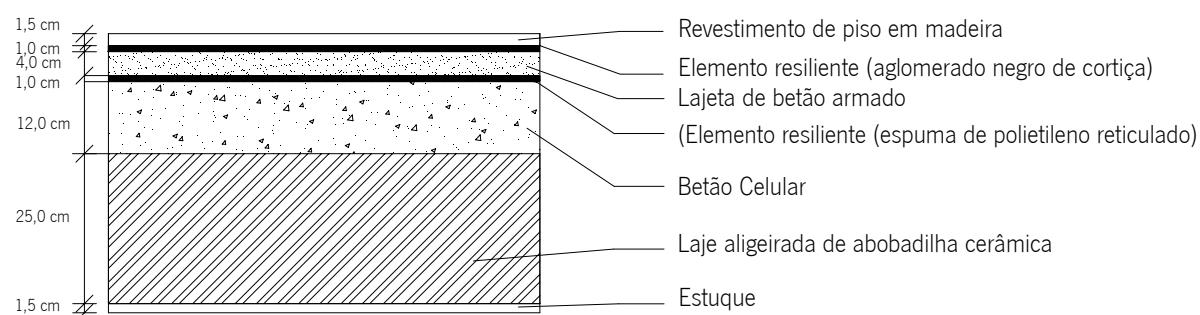


Figura IV.243 – Pavimento de separação entre uma habitação e a zona de escritórios com soalho de madeira e com material cerâmico ou pético

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.78 e na Figura IV.244.

Tabela IV.78 – Dados relativos aos recintos emissor e receptor – Pav14

Área do Elemento Construtivo	Volume do Recinto	
	Emissor	Receptor
10,5 m <sup>2</sup>	26,8 m <sup>3</sup>	26,8 m <sup>3</sup>

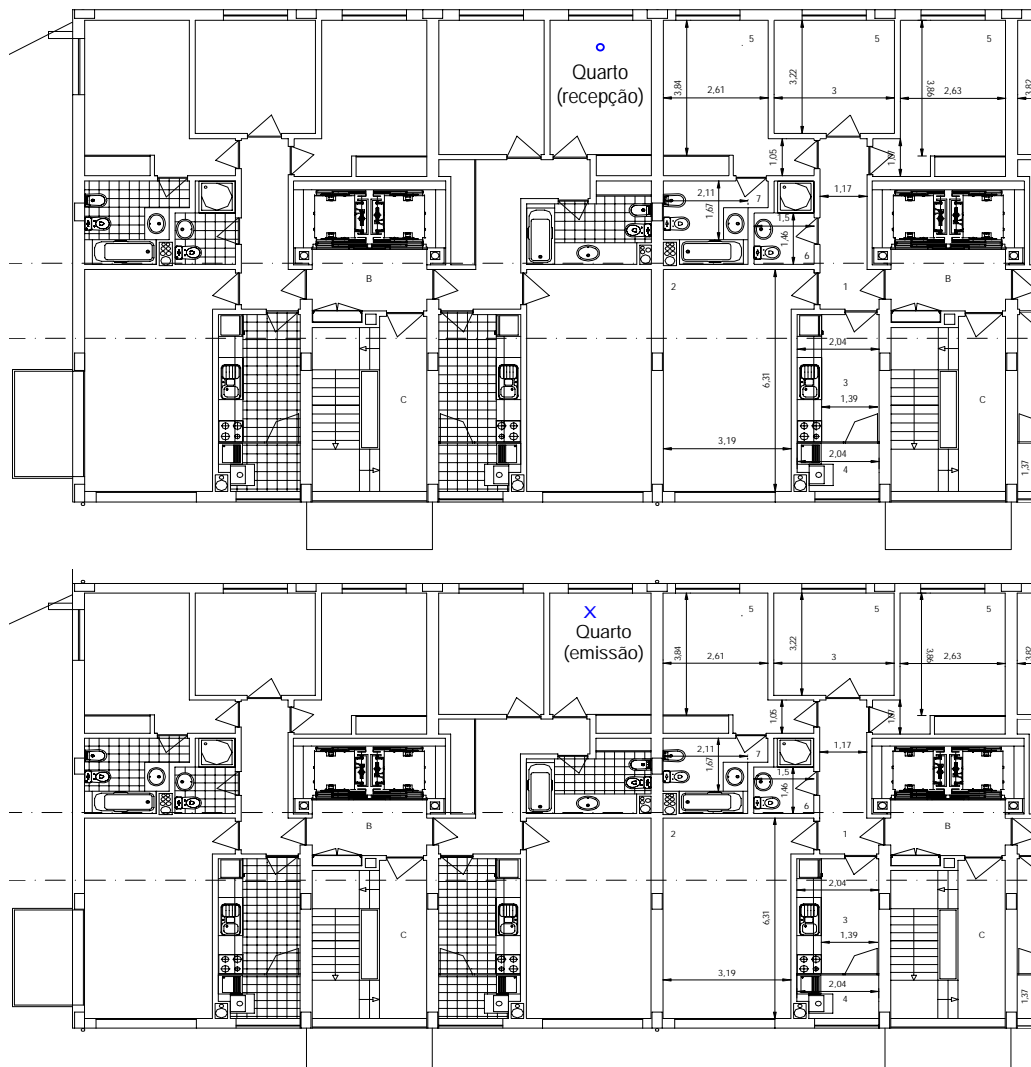


Figura IV.244 – Planta do recinto emissor e do recinto receptor do ensaio de avaliação do isolamento do pavimento – Pav.14

Na tabela e no gráfico da Figura IV.245 e da Figura IV.246 apresentam-se os resultados das medições realizadas para avaliar o isolamento sonoro do pavimento 14, Pav14.



Freq.	$D_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	37.2
125	30.8
160	38.1
200	43.2
250	41.5
315	44.8
400	42.9
500	44.9
630	47.8
800	50.2
1000	52.0
1250	54.1
1600	57.6
2000	61.8
2500	62.7
3150	64.8
$D_{nT,w}$	<b>51 dB</b>

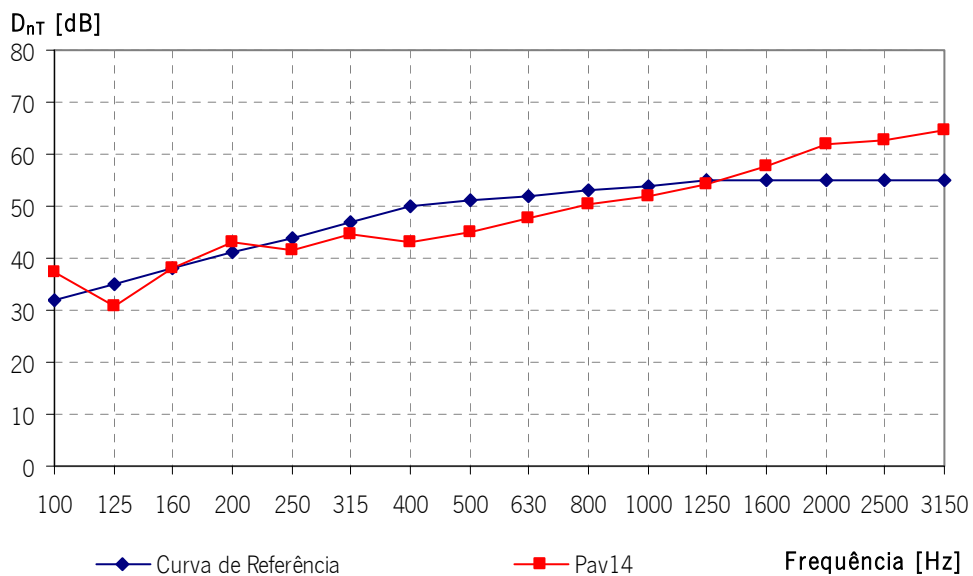


Figura IV.245 – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento 12, Pav12

O Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea ( $D_{nT,w}$ ) do pavimento 14, Pav14, é de 51 dB, tal como mostra a Figura IV.245.

Freq.	$L'_{nT}$
[Hz]	[dB]
100	69.6
125	75.1
160	70.0
200	64.7
250	64.0
315	61.5
400	59.7
500	52.1
630	49.6
800	47.9
1000	47.2
1250	45.7
1600	41.4
2000	35.1
2500	31.3
3150	28.4
$L'_{nT,w}$	<b>61 dB</b>

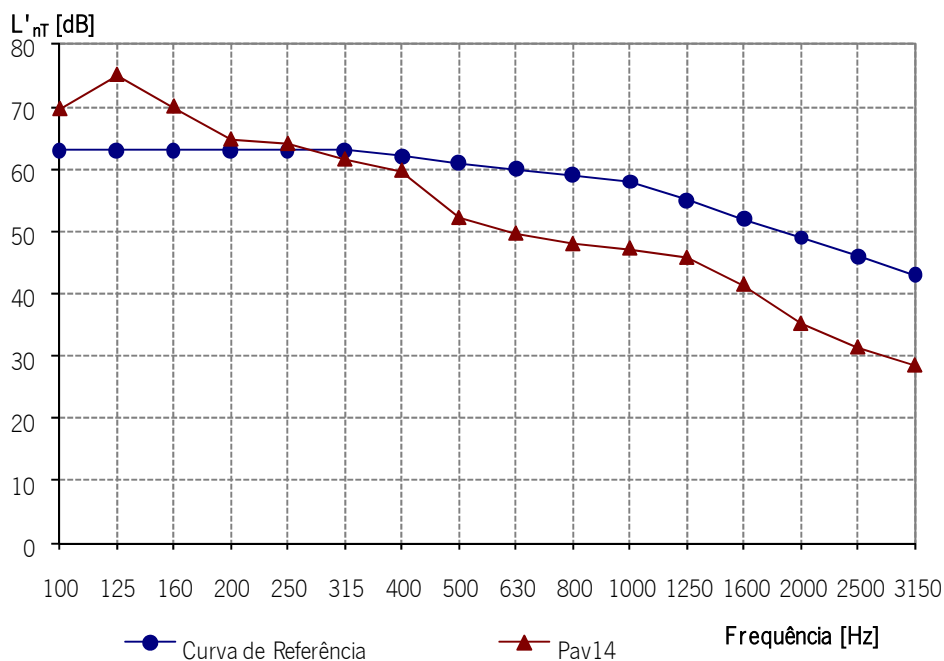


Figura IV.246 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento 14, Pav14

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 IV.246.

### 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 IV.247.

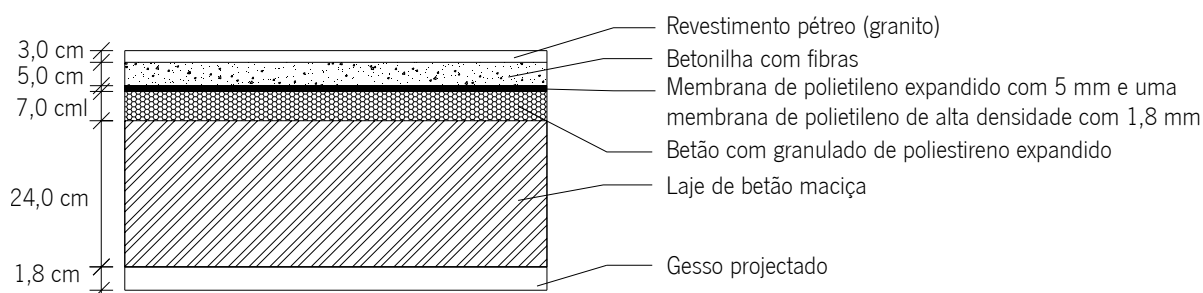


Figura IV.247 - Representação esquemática do pavimento Pav15

Os dados relativos aos recintos onde a medição foi realizada são apresentados na Tabela IV.79.

Tabela IV.79 - Dados relativos aos recintos emissor e receptor - Pav15

	Área [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Recintos emissores - Quarto de casal	10,3	26,7
Recintos receptores - Sala	39,3	102,1

Na tabela e no gráfico da Figura IV.248 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

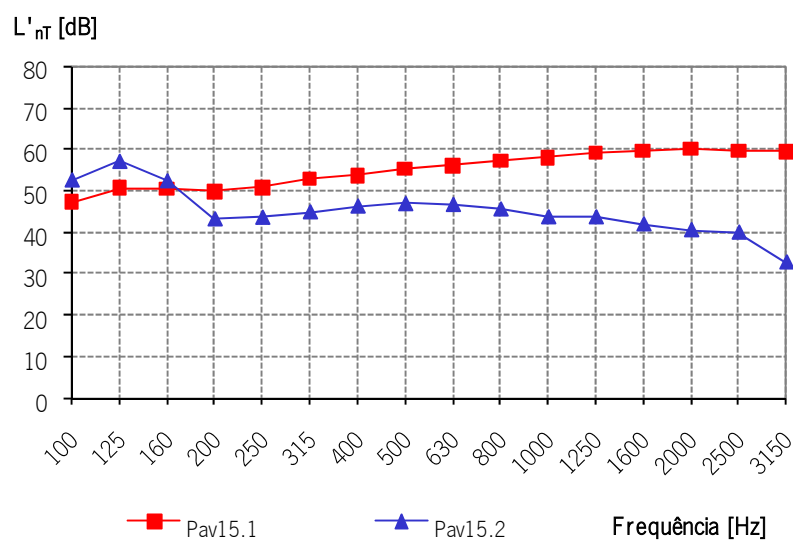


Figura IV.248 – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos quatro tipos de pavimento 15 – Pav15.i

Como se pode verificar através da análise da Figura IV.248 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.



## ANEXO V Inquérito

Neste Anexo é apresentado o inquérito realizado aos ocupantes dos edifícios de modo a caracterizar a sua percepção da Qualidade do Ambiente Interior.

1- Preencha os seguintes dados:

Idade: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_ Peso: \_\_\_\_\_

Altura: \_\_\_\_\_ Naturalidade: \_\_\_\_\_

2- Os factores que se seguem dizem respeito a parâmetros que contribuem para a qualidade do ambiente interior dos edifícios. O peso que cada um destes parâmetros tem sobre os indivíduos é subjectivo. Pontue de 1 a 5 a importância que dá a cada um dos parâmetros que se seguem:

Qualidade do ar	<input type="text"/>	Conforto acústico	<input type="text"/>
Conforto térmico	<input type="text"/>	Conforto visual	<input type="text"/>

3- Existe algum compartimento deste edifício no qual se sinta particularmente desconfortável?

Qual? \_\_\_\_\_

4- Assinale com um x as hipóteses válidas:

Vê mal	<input type="checkbox"/>	Está constipado	<input type="checkbox"/>
Ouve mal	<input type="checkbox"/>	Consumiu recentemente álcool	<input type="checkbox"/>
Tem problemas respiratórios	<input type="checkbox"/>		

a) A frequência neste local provoca-lhe algum destes sintomas?

Tosse	<input type="checkbox"/>	Dor de cabeça	<input type="checkbox"/>
Espirros	<input type="checkbox"/>	Irritação dos olhos, nariz ou garganta	<input type="checkbox"/>
Expectoração	<input type="checkbox"/>	Irritação na pele	<input type="checkbox"/>
Comichão no nariz	<input type="checkbox"/>	Náuseas	<input type="checkbox"/>
Falta de ar	<input type="checkbox"/>	Cansaço	<input type="checkbox"/>
Perda de concentração	<input type="checkbox"/>	Perda de reflexos	<input type="checkbox"/>
Irritabilidade	<input type="checkbox"/>	Insónias	<input type="checkbox"/>

5- Assinale com um x todas as peças de roupa que tem vestida:

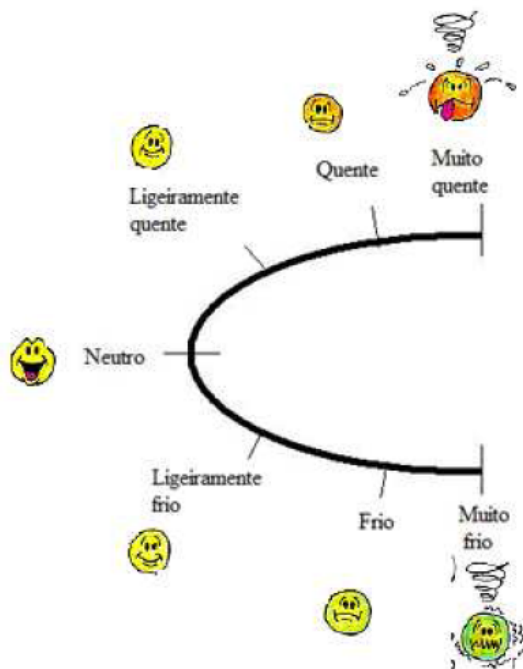
<b>Roupa interior</b>	Cueca		<b>Calças</b>	Calções	
	Boxer			normais	
	T-Shirt			leves	
	Sweatshirt			Calças de flanela	
	Cueca e soutien			<b>Saia</b>	Verão
<b>Camisa</b>	de manga curta		de Inverno		
	leve, de manga comprida		<b>Vestido</b>	de Verão	
	normal, de manga comprida			de Inverno	
	de flanela, manga comprida		<b>Diversos</b>	Meias curtas	
<b>Vestuário do exterior</b>	Casaco			Meias grossas, pelo tornozelo	
	Colete			Meias calças grossas	
	Parka			Meias de nylon	
<b>Camisola</b>	Sem mangas			Sapatos de sola fina	
	fina			Sapatos de sola grossa	
	normal			Botas	
	grossa			Luvas	
<b>Casaco</b>	De Verão				
	De Inverno				

6- Que nível de actividade tem neste momento?

Deitado		De pé, relaxado	
Sentado, relaxado		A cozinhar	
A limpar a casa		A ler, sentado	
A circular		A escrever	
A datilografar			

7- Relativamente ao **AMBIENTE TÉRMICO** no local onde se encontra:

a) Como se sente neste momento (assinale na figura):



b) Considera-o:

Confortável	<input type="checkbox"/>	Desconfortável	<input type="checkbox"/>
Ligeiramente desconfortável	<input type="checkbox"/>	Muito desconfortável	<input type="checkbox"/>

c) Neste momento gostaria que o ambiente térmico estivesse:

Muito mais frio	<input type="checkbox"/>	Muito mais quente	<input type="checkbox"/>
Ligeiramente mais frio	<input type="checkbox"/>	Ligeiramente mais quente	<input type="checkbox"/>
Tal como está	<input type="checkbox"/>		

d) Das opções que se seguem assinale qual/quais pode efectuar de modo a melhorar o seu conforto térmico:

Abrir/fechar janelas	<input type="checkbox"/>	Activar/desactivar cortinas ou estores	<input type="checkbox"/>
Ligar/desligar o aquecimento	<input type="checkbox"/>	Vestir/despir vestuário	<input type="checkbox"/>

e) Alterou o seu vestuário no decorrer da última hora de modo a ajudar a sentir-se mais confortável termicamente:

Sim	<input type="checkbox"/>
Despiu? Que peça? _____	
Vestiu? Que peça? _____	
Não	<input type="checkbox"/>

8- Relativamente ao **AMBIENTE ACÚSTICO** no local onde se encontra:

a) Considera-o:

Confortável	<input type="checkbox"/>	Desconfortável	<input type="checkbox"/>
Ligeiramente desconfortável	<input type="checkbox"/>	Muito desconfortável	<input type="checkbox"/>

b) Sente ruídos que incomodativos?

Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
<u>De onde</u> provêm esses ruídos?			
Interior	<input type="checkbox"/>		
Exterior	<input type="checkbox"/>		
<u>Que tipo</u> de ruídos?			
Graves	<input type="checkbox"/>		
Agudos	<input type="checkbox"/>		
Sons repetitivos	<input type="checkbox"/>		
Sons vibratórios	<input type="checkbox"/>		
Ruídos pontuais	<input type="checkbox"/>		

9- Relativamente ao **AMBIENTE LUMÍNICO** no local onde se encontra:

a) Considera-o:

Confortável	<input type="checkbox"/>	Desconfortável	<input type="checkbox"/>
Ligeiramente desconfortável	<input type="checkbox"/>	Muito desconfortável	<input type="checkbox"/>



b) Neste momento gostaria que o ambiente lumínico estivesse:

Muito mais iluminado	<input type="checkbox"/>	Muito menos iluminado	<input type="checkbox"/>
Ligeiramente mais iluminado	<input type="checkbox"/>	Ligeiramente mais iluminado	<input type="checkbox"/>
Tal como está	<input type="checkbox"/>		

c) Considera que a iluminação no local em que se encontra é adequada?

Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
		Quais os <u>motivos</u> :	<input type="checkbox"/>
		Excesso de luz artificial	<input type="checkbox"/>
		Escassez de luz artificial	<input type="checkbox"/>
		Excesso de luz natural	<input type="checkbox"/>
		Escassez de luz natural	<input type="checkbox"/>
		Lâmpadas avariadas	<input type="checkbox"/>
		Existência de reflexos/sombras	<input type="checkbox"/>

d) Sente uma diferença considerável na qualidade visual quando se encontra neste local e começa a escurecer?

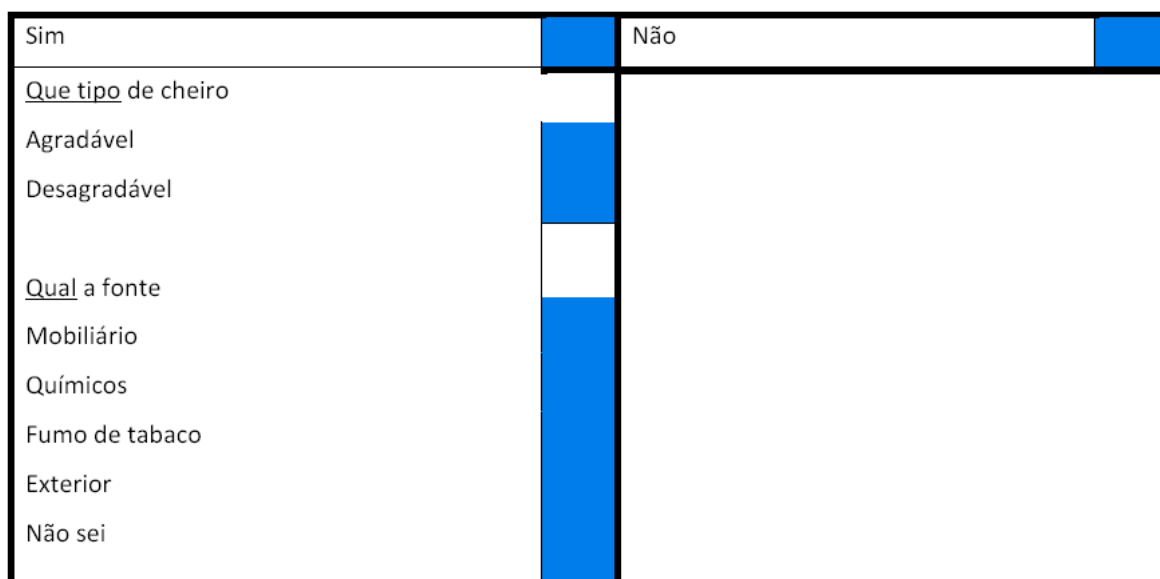
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
<u>Quando?</u>			
Quando o céu fica nublado	<input type="checkbox"/>		
No final da tarde	<input type="checkbox"/>		
Durante a noite	<input type="checkbox"/>		

10- Relativamente à **QUALIDADE DO AR** no local onde se encontra:

a) Considera-a:

Confortável	<input type="checkbox"/>	Desconfortável	<input type="checkbox"/>
Ligeiramente desconfortável	<input type="checkbox"/>	Muito desconfortável	<input type="checkbox"/>

b) Sente algum cheiro no local onde se encontra?



c) Sente alguma diferença em respirar quando se encontra neste local relativamente ao ar livre?



MUITO OBRIGADA PELA SUA DISPONIBILIDADE E COLABORAÇÃO

## Referências Bibliográficas

- ADENE/INETI. Fórum Energias Renováveis – Relatório Síntese 2001
- ADENE / INETI - Fórum Energias Renováveis em Portugal – Uma contribuição para os objectivos de política energética e ambiental, INETI, Dezembro 2002
- ADENE/INETI. Fórum Energias Renováveis – Relatório Síntese 2004
- AFREM - Association Française de Recherches et d'Essais sur les Matériaux de Construction. Les matériaux de construction et leurs métiers. Published by AFREM, St-Rémy-lès-Chevreuses, France, 40pp., 1996
- Akins, R.E., J.A. Peterka, and J.E. Cermak.. Averaged Pressure Coefficients for Rectangular Buildings. Wind Engineering. Proc. Fifth International Conference 7:369-80, Fort Collins, CO. Pergamon Press, NY, 1979
- AirControl, 2007 em 5/04/09: <http://www.aircontrol-piteira.com/index.htm>
- Aizlewood, M.E.; Littlefair, P.J.: Daylight Prediction Methods: a Survey of their Use Proceedings of National Lighting Conference, University of Bath, CIBSE, (1996)
- Alexandre, Celso. Qualidade do ar interior - Boletim Técnico n.º8, Trox Technic, 1998
- Al-Homoud, M.S.. Computer-aided building energy analysis techniques, Building and Environment 36, 421-433 pp., 2001
- Almeida, A. e Costa, A.. Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão. Recife: Universitária da UFPE, 2003
- Almeida, M. M.; Teixeira, J. C. – Tecnologias de Construção e Utilização Racional de Energia, Promover um Desenvolvimento Sustentável – Jornadas de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Dezembro de 2001
- Almeida, M.; Silva, S.. Física das Construções, Universidade do Minho, 2009
- Araújo, Teles. Relatório do Observatório Nacional das Doenças Respiratórias. ONDR, Observatório Nacional Das Doenças Respiratórias. 2007
- ASCE Committee on Wind Effects. Minimum Design Loads for Buildings and Structures, American Society of Civil Engineers Standard ASCE 7-05, New York, 2005
- ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Handbook of fundamentals. Atlanta, 2001
- ASHRAE 1052RP Draft Final Report. ASHRAE Analytical Test Suite – Building Fabric, December, 2000
- ASHRAE Standard 62-89: “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, Atlanta, GA, American Society of Heating Refrigerating and, Air-Conditioning Engineers, Inc. 1989
- ASHRAE Standard 55-2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- ASHRAE Standard 62.2-2007 – Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings
- ASHRAE Standard 90.1-2001. Energy Standard for Buildings except Low Rise Residential Buildings

ASHRAE Standard 90.2-2007: Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings

ASHRAE Standard 140, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, August 2001

Bana e Costa, C.; Vansnick, J. C.. MACBETH - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions, International Transactions in Operational Research, vol. 1, n. 4, p. 489-500, 1994

BCA - British Cement Association. Cement Manufacture and the Environment. Published by BCA. Crowthorne Berkshire (UK), 13pp.

Bodmann, H. W.. Quality of Interior Lighting Based on Luminance. Transaction of Illuminating Engineering Society 32(1). p. 22.40. 1967

Becker, J., Einbrodt, H-J. and Fischer, M. 1991.. Comparison of Natural Gypsum and FGD Gypsum. VGB Kraftwerkstechnik 1/1991, 46-49.

Belton, V. & Stewart, T.J.. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 2002

Benayoun, R.; Roy, B.; e Sussman, B.. ELECTRE: Une Méthode pour guider le choix en presence de points de vue multiples. Note de Travail 49, SEMA (METRA INTERNATIONAL), Direction Scientifique, Paris, France, 1966

Benya, J., et. Al.. Advanced Lighting Guidelines. 2003. New Buildings Institute.

(<http://www.newbuildings.org/lighting.html>)

Berge, B. - The Ecology of Building Materials. Translated from Norwegian to English by Filip Henly, Architectural Press, Bath, 1999.

Björkruth, M.; Muller, B.; Kuchen, V. ; Bluysen, P.M. . Pollution from ducts: what is the reason, how to measure it and how prevent it? Healthy Buildings 2000, Aug 6-10 2000, Espoo, Finland, Vol 2, 2000, pp. 163-168. 2000

Bland, B.H.. Conduction Tests for the Validation of Dynamic Thermal Models of Buildings, Technical Note 93/1, August 1993.

Boehland, J.. Hospital, Heal Thyself: Greening the Design and Construction of Healthcare Facilities. Environmental Building News, v.14(6) junho de 2005

Briggs, T.; Kunsch, P. L.; e Mareschal, B. Nuclear Waste Management: An Application of the Multicriteria PROMETHEE Methods. European Journal of Operational Research, v. 44, p. 1-10, 1990

Brodskom, F.. As Boas Práticas Ambientais na Indústria Extractiva: Um Guia de Referência. Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro. Versão Online no site do IGM , 2000

([http://www.igm.pt/edicoes\\_online/diversos/praticas\\_ambientais/indice.htm](http://www.igm.pt/edicoes_online/diversos/praticas_ambientais/indice.htm)).

Boyce, P. R. Human Factors in Lighting. Applied Sciences Publishers, London, 1981

Cafiso, S.; Graziano, A.; Kerali, H. R.; Odoki, J. B.. Multicriteria Analysis Method for Pavement Maintenance Management, 2002

California Energy Commission. Title 24, Part 6 of the California Code of Regulations: California's Energy Efficiency Standards for Residential and Non-residential Buildings. 2007

<http://www.energy.ca.gov/title24/>.

Carmo, A.. Qualidade do ar interno, Escola Politécnica USP, São Paulo, 1999

Castro, Eduardo B. P. de. Método de Auxílio à Concepção Arquitectónica Baseado Na Análise Multicritério e em Dados Simulados dos Comportamentos da Edificação. Tese de Doutoramento, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Abril 2005

CEC: Commission of the European Communities. Dynamic Characteristics of Daylight Data and Daylighting Design in Buildings. Final Report. Nantes, December 1993

Cembureau. BAT Reference Document - Chapter 1 General information about the cement industry. Published by Cembureau - The European Cement Association, Brussels, 2pp., 1998

CEN - European Committee for Standardization, CEN Standard CEN/CR 1752: Ventilation for Buildings. Design Criteria for the indoor environment. Brussels, 1998

CEN - European Committee for Standardization, EN 12464-1, Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work Places, Brussels, 2002

CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO STANDARD 140-6 - Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 6: Laboratory measurements of impact sound insulation of floors. 1998

CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO STANDARD 140-7 - Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors. 1998

CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO STANDARD 140-8 - Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 8: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a heavyweight standard floor. 1998

CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO STANDARD 717-1 - Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. 1996

CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO STANDARD 717-2- Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact Sound Insulation. 1996

CEN - European Committee for Standardization, European Standard EN 12464, Lighting of workplaces, 2003

CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO 7726, Ergonomics of the thermal environment - Instruments and methods for measuring physical quantities, Brussels, 1998

CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, Brussels, 2005

CEN - European Committee for Standardization, EN 15251, Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, Brussels, 2007

CEN - European Committee for Standardization, EN 12464-1, 2003 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places

- CEN - European Committee for Standardization, EN 12464-2, 2007 Light and lighting - Lighting of work places - Part 2: Outdoor work places
- CEN - European Committee for Standardization, EN 12665, 2002 - Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements
- CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO 27243: Ambientes quentes. Estimativa de stress ao homem por influência do calor, baseado no índice WBGT (Wet bulb Globe temperature / Temperatura do bolbo húmido)
- CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO 7933: Ergonomia em ambientes térmicos - Determinação analítica e interpretação do stress por aquecimento usando cálculo para prever a tensão térmica
- CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO 11079: Avaliação de ambientes frios - Determinação de isolamento da roupa requerida (IREQ)
- CEN - European Committee for Standardization e ISO - International Organization for Standardization, EN ISO 8996: Ergonomia em ambientes térmicos - Determinação da actividade metabólica.
- Chappells, H. and Shove E.. Debating The Future of Comfort: Environmental Sustainability, Energy Consumption and the Indoor Environment. *Building Research & Information*, 33(1), p. 32-40, 2005
- CIE: Commission Internationale de L'Éclairage. Daylight. International Recommendations for the Calculation of Natural Light. Publication CIE n.º 16 (E-3.2), 1970
- CIE: Commission Internationale de L'Éclairage. Guide on Interior Lighting. CIE 29, 1975
- CIE: Commission Internationale de L'Éclairage. CIE 55. Discomfort Glare in the Interior Working Environment. Commission Internationale de L'Éclairage, 1983
- CIE: Commission Internationale de L'Éclairage. CIE Publication 29.2: Guide on interior lighting, 1986
- CIE: Commission Internationale de L'Éclairage. International Lighting Vocabulary. 4th Ed, IEC/CIE, 1987
- CIE: Commission Internationale de L'Éclairage. CIE 117. Discomfort Glare in Interior Lighting. Commission Internationale de L'Éclairage, 1995
- CIBSE - Chartered Institution of Building Services Engineering. Code for Interior Lighting, 1994
- CEC: Commission of the European Communities. Daylight in Architecture: A European Reference Book. Baker, N; Fanchiotti, A; Steemers, K. (Eds.). Pub for the CEC DG XII. London, James & James Science Publishers, 1993
- Clausen, G.; Alm, O. e Fanger, P.O.. Sensory source strength of used ventilation filters Indoor Air 2002 Proceedings: 9th international conference on indoor air quality and climate, Monterey California USA, 30 June-5 July, 2002.
- Clear: <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/index.html>
- Cohon, J. e Marks, D.. A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques, *Water Resources Research*, vol. 11 (2), pp. 208-220 (pp. 208-211), 1975
- Cole, S. 1998. The Long-Term Role of Secondary Aggregates. *Quarry management UK*, May 1998, 24-33.
- COMIS. COMIS, Multizone Air Flow Model Homepage. 2003 (<http://www-epb.lbl.gov/comis/>)

- Compagnon, R. : RADIANCE: a simulation tool for daylighting systems Tutorial notes, The Martin Centre, University of Cambridge, UK, 1997
- Compagnon, R. ; Paule, B. ; Scartezzini, J.-L.: Design of New Daylighting Systems Using Adeline Software Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Proceedings, Florence, Italy, 1993
- Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M. e Griffith, B. T.. Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs. Proceedings da Conferência Building Simulation 2005, Montreal, Quebec, Canada, IBPSA, 231-238 pp.. 2005
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Pedersen, C. O., Strand, R. K., Liesen, R. J., Fisher, D. E., Witte, M. J., Henninger, R. H., Glazer, J., and Shirey, D. B.. EnergyPlus: New, Capable, and Linked. eSim 2002 Conference, Montreal, Quebec, Canada, IBPSA-Canada, 10 pp.. 2002
- Crawley, D., L. Lawrie, C. Pedersen, R. Liesen, D. Fisher, R. Strand, R. Taylor, F. Winkelmann, F. Buhl, E. Erdem e J. Huang.. EnergyPlus: A New-Generation Building Energy Simulation Program, Building Simulation '99, The International Building Performance Simulation Association, Kyoto.. 1999
- Crawley, D.B., F.C. Winkelmann, L.K. Lawrie, and C.O. Pedersen. "EnergyPlus: A New-Generation Building Energy Simulation Program." Proc "Building Simulation '99," Volume I, pp. 81-88, September 1999, Kyoto, Japan, IBPSA.
- Crawley, Drury B.. Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs, U S Department of Energy, Washington, DC, USA.. 2005
- Cremer, L.; Heckl, M. - Structure-borne sound: structural vibrations and sound radiation at audio frequencies. Berlin, Springer-Verlag, 1973.
- Cuell, M. Building Related Sickness. Buildings Services the CIBSE journal, v.15, n.03, p. 21-22, 1993
- Decreto-Lei 78/2006, de 4 de Abril. Sistema de Certificação Energética de Edifícios, 2006
- Decreto-Lei 79/2006, de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, 2006
- Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril. Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios, 2006
- Decreto-Lei 96/2008 de 9 de Julho, "Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios", 2008
- Decreto-Lei nº 9/2007 de 17 de Janeiro. Regulamento Geral do Ruído, 2007
- Degani, C.M.; Cardoso, F.F.. A Sustentabilidade ao Longo do Ciclo de Vida de Edifícios: A Importância da Etapa de Projecto Arquitectónico. Nutau, Seminário Internacional - Sustentabilidade, Arquitectura, Desenho Urbano, São Paulo, Brasil, Outubro de 2002
- DesignBuilder. DesignBuilder Software Homepage. 2007 (<http://www.designbuilder.co.uk>.)
- DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia. Estatísticas, 2004
- DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia. Caracterização Energética Nacional. Direcção Geral de Geologia e Energia. Disponível *online* em [<http://www.dgge.pt>] em 16/10/2006
- Diakaki, Christina, Grigoroudis, Evangelos e Kolokotsa, Dionyssia. Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. Energy and Buildings 40 1747–1754, 2008
- Dimson, B.. Principles and Challenges of Sustainable Design and Construction, Industry and Environment 19, no. 2 (April-June) 1996

Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios

Djukanovic R., Wargocki, P., and Fanger, P.O.. Cost Benefit Analysis of Improved Air Quality in an Office Building, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '02, Vol. 1, pp 808-813, Monterey, California, June 30 - July 5, 2002

Duckstein, L.; e Opricovic, S.. Multiobjective Optimization in River Basin Development. Water Resources Research, v.16, n. 1, p. 14-20, 1980

Duckstein, L.; Treichel, W. Ç.; e Magnouni, S. E.. Ranking Ground-water Management by Multicriterion Analysis. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 120, n. 4, p. 546-565, July/August 1994

e.ciência, 12/05 - <http://www.cienciapt.net/revista/20051215.pdf>, em 16/12/2005

ECA 1992, European Collaborative Action Indoor Air Quality and its Impact on Man (ECA) : Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings, Luxembourg, Office for Publications of the European Communities, Report No. 11 (EUR 14449 EN). 1992

EDR. Design Brief: Lighting. Energy Design Resources

EDR. Energy Design Resources: <http://www.energydesignresources.com/>

EE 152 - Eficiència Energètica n.º 152; Demand for Confort and Energy Consumption; Generalitat de Catalunya, Departament d' Indústria, Comerç i Turisme, Institut Català d'Energia, April/June 1999

EE 164 - Eficiència Energètica n.º 164; Els reptes energètics en el context internacional, la demanda i els usos de l'energia al món actual; Generalitat de Catalunya, Departament d' Indústria, Comerç i Turisme, Institut Català d'Energia, Desembre 2003

EERE - Building Technologies Program Home Page (<http://www.eere.energy.gov/buildings/>)

Einhorn, H. D.. A New Method for the Assessment of Discomfort Glare. Lighting Research and Technology 1(4). p. 235-247, 1969

Einhorn, H. D.. Discomfort Glare: A Formula to Bridge Differences. Lighting Research and Technology 11(2). p. 90-94, 1979

Einhorn, H. D.. Unified Glare Rating (UGR): Merits And Application to Multiple Sources. Lighting Research and Technology 30(2). p. 89-93, 1998

Ellis, M. W., Matheus, E. H.. A new simplified thermal design tool for architects. Building and Environment n.36, pp.1009-1021, 2001

EnergyPlus, Getting started with EnergyPlus. 2007

(<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/documentation.html>.)

EnergyPlus. 2004a.. Input Output Reference: The Encyclopedia Reference to EnergyPlus Input and Output. Building Simulation Group. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, California. 2004

EnergyPlus. 2004b.. Engineering Documentation: The Reference to EnergyPlus Calculations. Building Simulation Group. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, California. 2004

e-News Issue 57. Designing Office Buildings to Perform Better Than Title 24. December 2006

(<http://www.energydesignresources.com/resource/224/>)



- EPA - Environmental Protection Agency, USA: Report to Congress on Indoor Air Quality, Executive Summary and Recommendations, EPA/400/1-89/001A, August 1989
- EPA - Environmental Protection Agency, USA: Report to Congress on Indoor Air Quality, Executive Summary and Recommendations, EPA/400/1-89/001A, August 1989
- EPA (Environmental Protection Agency, USA). Indoor Air Facts n° 4 - Sick Building Syndrome. 1991 (Internet. <http://www.epa.gov/iaq/pubs>)
- ES 53 - Energia Solar - Revista de Energias Renováveis & Ambiente n.º 53, Julho a Dezembro de 2003 (pag. 4, 5 e 7)
- EuLA - European Lime Association EuLA. Info brochure of the European Lime Association, Office Cologne, 6pp. 1993
- EUR 14440 EN. Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings. Report n.º11, European collaborative action on Indoor Air Quality and its Impact on Man. Commission of the European Communities
- European Commission Directorate - General for Energy. Daylighting in buildings. Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin Richview Clonskeagh, Dublin, Ireland, 1994
- European Communities 1998. European Mineral Yearbook, 2nd Edition 1996-1997. Prepared by BRGM for DGIII, Industry - Office for Official Publications of the European Communities. 164-170 (Calcium carbonate and Dolomite), 194-200 (Lime), 156-163 (Dimension Stone)
- Evans, John Martin. Bioclimatic traditions in South America, Lessons for the past and pointers for the future. Proceedings de PLEA 2001 - International Conference on "Passive and Low Energy Architecture". Florianópolis, Brasil, Novembro 2001
- Fanger, P.O.. Thermal comfort, analysis and applications in environmental engineering, McGraw-Hill, New York, 1972
- Fanger, P. O.. Thermal Comfort. Danish Technical Press, 1972
- Fanger, P. O., L. Bahhidi, et al.. Comfort limits for heated ceilings. ASHRAE Trans. 86 (2): 141-156, 1980
- Fanger, P. O.. Thermal Comfort. Florida, USA, R. E.Krieger, 1982
- Fanger, P. O., B. M. Ipsen, et al.. Comfort limits for asymmetric thermal radiation. Energy and Buildings 8: 225-236. 1985
- Fanger, O. P.: Introduction of the Olf and the Decipol Units to Quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors. In: Energy and Buildings. 12, 1-6. 1988
- Ferrás, Juan. Control Ambiental en Interiores, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 2000
- Feustel, H.. COMIS - An International Multizone Airflow and Contaminant Transport Model", LBNL-42182, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA. 1998
- Fisk, W.. Impact of Indoor Environmental Quality on Health and Productivity, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009
- Fisk, W.. Indoor Environmental Quality - Building Products Manufacturers Alliance Meeting, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008
- Freitas, Vasco Peixoto de. Humidade e Ventilação. Workshop Energia em Espaço Urbano: O caso da Expo'98 - Ventilação, Saúde e Conforto, Lisboa, INETI, 12 e 13 de Dezembro de 1996

- Gallo, Giulio. Indoor Air Quality - EU activities and possible future developments; REHVA Supporters Seminar; Bruxelas, 2009
- Gerretsen, E. - Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings. "Applied Acoustics", London, vol. 19, 1986
- Gershon, M.; Dukstein, L. e McAniff, R.. Multiobjective River Basin Planning with Qualitative Criteria. Water Resources Research, v. 18, n. 2, p. 193-202, 1982
- Gitahy, M.. Tempo, cidade e arquitetura, Edição Annablume, 2007
- Gobbetti, L. E. C.; e Barros, M. T. L.. Análise Multiobjetivo Aplicada ao Planejamento de Sistemas de Recursos Hídricos. In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos pp 317-326, 1993
- Godish, Thad. Indoor Environmental Quality, Lewis Publishers, 2001
- Goicoechea, A; Hansen, D. R. e Duuckstein, L.. Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications, New York, USA, John Wiley & Sons, 1982
- Gomes, L. F. A. M.; Araya, M. C. G.; Garignano, C.. Tomada de Decisões em Cenários Complexos – Introdução aos métodos discretos do Apoio Multicritério à Decisão. São Paulo Pioneira Thomson Learning, 2004
- Gomes, L.F.A.M. e Lima, M.M.P.P.. From modeling individual preferences to multicriteria ranking of discrete alternatives: a look at Prospect Theory and the additive difference model. Foundations of Computing and Decision Sciences, 17(3),171-184, 1992b
- Gomes, L.F.A.M. e Lima, M.M.P.P.. TODIM: basics and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts. Foundations of Computing and Decision Sciences, 16(4),113-127. 1992a
- Gonçalves, Hélder. The New Building Energy Regulations in Portugal. Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios, Jornada Técnica AIE - Programas Solar Heating and Cooling (SHC) e Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS), Espinho, 15 a 17 de Junho de 2005
- Goodwin, Paul; Wright, George. Decision analysis for management judgement. Chichester: John Wiley & Sons, 2000
- Goulding, John; Lewis, J. Owen; Steemers, Theo C.. Energy Conscious Design - A primer for architects. B.T. Batsford Limited. Commission of the European Communities, Londres, 1992
- Goulding, John; Lewis, Owen; Steemers, Theo.. Energy in Architecture, the European Passive Solar Handbook. B.T. Batsford Limited. Londres, 1992
- Green Vitruvius, A green vitruvius: princípios para uma arquitectura sustentável, Ordem dos Arquitectos, 2003
- Grupo de Trabalho Ar Interior (GTAI), NT SCE-02: Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE, Portugal, 2008
- Guia EdSust – Guia de L'Édificació Sostenible. Direcció General d'Actuacions Concertades, Arquitectura i Habitatge, Generalitat de Catalunya, Segunda edição, Barcelona, 1999
- Hensen, S.J. Managing Indoor Air Quality. Lilburn, Fairmont Press, 1991
- Hanssen, S.O.. Quality Assurance for IAQ in the Construction Process, Plenary State of the Art Lecture at the International Conference: Healthy Buildings 2000, Espoo, Helsinki, Finland, August 6 - 10, 2000

Hanssen, S. O.. Indoor Environment in Smart Energy-Efficient Buildings, 2002

Hanssen, Sten Olaf; Berner, Monica.. Indoor Environment in Smart Energy-Efficient Buildings - A State-of-the-Art Report, A report within the research program Smart Energy-Efficient Buildings at NTNU and SINTEF, 2002-2006, SINTEF Energy Research, Trondheim, December 2002

Hokkanen, J. Ç.; Salminen, P.; Tossi, E. Ç.; e Ettala, M.. Choice of a Solid Waste Management System Using the ELECTRE-II Decision-aid Method. Waste Management & Research, 13 (2), 175-193, April, 1995

Holmes, J.D.. Wind Loads on Low Rise Buildings - A Review. CSIRO, Division of Building Research, Highett, Victoria, Australia, 1983

Holmes, J.D.. Wind Loading of Structures, Spon Press, New York, 2001

Holmes, J.D., and Best, J.R., 1981: "An Approach to the Determination of Wind Load Effects on Low-rise Buildings," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 7, pp. 273 - 287, 1981

Hopkinson, R. G.; Bradley, R. C.. A Study of Glare from Very Large Sources. Illuminating Engineering 55(5). p. 288-294. 1960

Hopkinson, R. G.. Architectural Physics: Lighting. London, U. K.. Her Majesty's Stationery Office. 1963

Hopkinson, R. G.; Collins, W. M.. An Experimental Study of the Glare from Luminous Ceiling. Transaction of Illuminating Engineering Society 28(4). p. 142-148. 1963

Hopkinson, R. G. et al. Iluminação Natural, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1975

<http://members.tripod.com/orofino/aquec.html>

<http://www.aecportico.co.uk/Directory/EUROVENT.shtm>

<http://www.agenciaenergia.com.br/solar/index.html>

<http://www.aguaquentesolar.com/aqs/index.htm>

<http://www.aquamec.com.br/>

<http://www.ashrae.org/>

<http://www.cefetsp.br/edu/sinergia/andre2.html>

<http://www.dtu.dk>

<http://www.engiaco.com> (15/03/2006)

<http://www.engiaco.com/metodo.html>

<http://www.engiaco.com/portfolio.html>

<http://www.esarchitects.com/>

<http://www.greenhouse.gov.au/energyefficiency/building/publications/index.html>

<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/fs40.htm>

<http://www.jrc.it/>

<http://www.p3e-portugal.com/BetBuiPT.pdf>

[http://www.p3e-portugal.com/\\_ficheiros/2/1/BetBuiPT.pdf](http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/2/1/BetBuiPT.pdf)

<http://www.policultura.org/default.asp>

<http://www.who.int/en/>

Humphreys, Michael A.. Quantifying occupant comfort: are combined indices of the indoor environment practicable?. *Building Research & Information*, 33(4), 317-325. 2005

IESNA - Illuminating Engineering Society of North America. RP5-99 Recommended Practice of Daylighting. Nova Iorque, 1999 ([www.iesna.org](http://www.iesna.org))

IESNA - Illuminating Engineering Society of North America. *Lighting Handbook*. 9<sup>th</sup> Edition. Illuminating Engineering Society of North America. New York. 2000

IPQ - Instituto Português da Qualidade, NP 1730-1 - Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos, 1996

INE - Instituto Nacional de Estatística. Recenseamento Geral da Habitação - Censos de 2001 <http://www.ine.pt>.

ISO - International Organization for Standardization: ISO 15469:2004 - Spatial distribution of daylight. CIE standard overcast sky and clear sky, 2004

ISO - International Organization for Standardization: ISO 9060:1990 - Solar energy – Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation, 1990

ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade. *Térmica de Edifícios*

Jones, T.. Plastic fillers: a maturing market in Europe. *Industrial Minerals*, n° 356, 61-63. May 1997

Josse, R. – *Notions d'Acoustique : à l'usage des architectes, ingénieurs et urbanistes*, Paris, Eyrolles, 1977

Keeney, R.; Raiffa, H.. *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade Offs*, John Wiley & Sons, New York, 1976

Keeney, Ralph L.; Raiffa, Howard.. *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999

Kim, Sun-Sook; Yang, In-Ho; Yeo, Myoung-Souk e Kim, Kwang-Woo. Development of a housing performance evaluation model for multi-family residential buildings in Korea. *Building and Environment* 40, 1103-1116, 2005

King, N. 1998. Minimizing the Inconvenience of Mineral Product Deliveries. *Quarry management UK*, 17-22. August, 1998

Kosonen, R.; Tan, F.. The effect of perceived indoor air quality on productivity loss, *Energy and Buildings* 36, 981-986, 2004

Kotzias, D., European Collaborative Action (ECA), European Commission, *Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure: Future Needs for Policy-Science Interface in the EU* Edited by Kephelopoullos, S., Jantunen, M. and Kotzias, D., *Proceedings from Workshop at Makedonia Palace, Thessaloniki, Greece 16-18 April, 2000*

Krause, C.. *Bioclimatismo no Projecto de Arquitectura: Dicas de projecto*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005

Kurnitsky, Jarek. *Ventilation and Air Distribution*. Helsinki University of Technology, Finland, 2009

Lamberts, R., "Conforto Térmico e Stress Térmico", *Laboratório de eficiência Energética em Edificações*, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002

- Lamberts, R., "Desempenho Térmico dos Edifícios", Laboratório de eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007
- Lamberts, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando O. R.. Eficiência Energética na Arquitectura. PW Editores. São Paulo, 1997
- Larsen, G. Pillgram. "300 000 på skolebenken for å bedre innemiljøet", BE-nytt nr 2, Statens Bygningstekniske Etat, Oslo, juni 1991 (In Norwegian). The National Office of Building Technology and Administration, PO Box 8742 Youngstorget, N-0028 Oslo, Norway, 1991
- Larson, Nils. Canadian Green Building Strategies. Proceedings de PLEA 2001 - International Conference on "Passive and Low Energy Architecture". Florianópolis, Brasil, Novembro 2001
- Lascon. Comprehensive Catalogue, 1998/99
- Laurence Berkeley National Laboratory - LBNL. EnergyPlus homepage. 2007  
(<http://www.energyplus.gov>)
- Lechner, N.. Heating, Cooling, Lighting - Design Methods for Architects. USA. John Wiley & Sons. 1990
- Lewis, F.A.. The Cost of Office Workers Discomfort, ENVIROS. The Healthy Building Newsletter, Volume 02, Number 04, April, 1992 ([www.envirocenter.com/Enviros/T02\\_04.html](http://www.envirocenter.com/Enviros/T02_04.html)),
- Lindwall, T., Knoepfel, H., Hanssen, S.O. et al. European Collaborative Action (ECA), Indoor Air Quality & its Impact on Man, Environment and Quality of Life Report No 17: Indoor Air Quality and the Use of Energy in Buildings, European Commission, Joint Research Centre, Environmental Institute, Ispra, Italy, Luxemburg Office for Official Publications of the European Communities, 1996
- Lisboa, C.. Os paradoxos da ventilação, ASHRAE Portugal Chapter: 2º seminári.; 2006
- Maile, Tobias; Fischer Martin e Bazjanac, Vladimir.. Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective CIFE Working Paper #WP107, Stanford University, 2007
- Maldonado, Eduardo B.. The Transposition of the EPBD in Portugal. Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios. Jornada Técnica AIE - Programas Solar Heating and Cooling (SHC) e Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS), Espinho, 15 a 17 de Junho de 2005
- Maldonado, Eduardo. Programa Nacional para a Eficiência Energética (aula do Mestrado em Engenharia Civil da Universidade do Minho em 2002/02/01)
- Marçal, Rui F. M., Susin, Altamiro A.. Predizendo Falhas em Sistemas Rotativos usando para o diagnóstico lógica Fuzzy. Anais 20º Congresso Brasileiro de Manutenção - ABRAMAN. Belo Horizonte, 2005
- Marins, Cristiano S. e Cozendey, Manaara I.. A metodologia de multicritério como ferramenta para tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. In: 25º Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Anais. Porto Alegre / RS, 2005
- Marks, W.. Multicriteria optimisation of shape of energy-saving buildings. Building and Environment. n. 4, pp. 331-339, 1997
- Martins da Silva, P.. Acústica de edifícios. Lisboa, LNEC, 1978
- Maystre, L. Y., Pictet, J., Simos, J. Méthodes multicritères ELECTRE. Lausanne, Suisse, Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, 1994.
- Meiriño, Marcelo J.. Arquitetura e sustentabilidade. Arquitectos 047. Abril de 2004

- Merkhofer, M. W.; e Keeney, R. L.. A Multiattribute Utility Analysis of Alternative Sites for the Disposal of Nuclear Waste. *Risk Analysis*, v. 7, p. 173-194, 1987
- Miettinen, K., Salminen, P.. Decision-aid for discrete multiple criteria decision making problems with imprecise data. *European Journal of Operational Research*. n. 119, pp. 50-60, 1999
- Ministério da Cultura (MC), Direcção Geral das Bibliotecas, Portugal. Iluminação Artificial Recomendações. Rede Nacional de Bibliotecas, Direcção Nacional de Serviço de Bibliotecas, Doc.17, Agosto 2007
- Mundt, E.. The performance of Displacement Ventilation Systems, Doctor Thesis. Bulletin no 38, Royal Insitute of Technology, Sweden, 1996
- New Buildings Institute: <http://www.newbuildings.org/>
- Neymark, J., and R. Judkoff. 2002. International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme Task 22 Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method for HVAC Equipment Models (HVAC BESTEST), National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, NREL/TP-550-30152, January 2002.
- Norma Portuguesa NP 1730 de 1996. Acústica: Descrição e Medição do Ruído Ambiente. Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- Norma Portuguesa NP 1037 de 2002 - Ventilação e evacuação dos produtos de combustão dos locais com aparelha a gás; Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural, 2002
- Norma Portuguesa NP EN ISO 140-5: 2000. Acústica - Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção - Parte 5: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada, 2000
- Norma Portuguesa NP EN ISO 140-5: 2000. Acústica - Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção - Parte 5: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada, 2000
- Olesen, Bjarne W.. Indoor Environment, health, comfort and productivity
- Oliveira, Ana Roque de; Jardim, Dília; Morais, Ana. Qualidade do ar Interior em Edifícios. Agência Portuguesa do Ambiente, 2009
- OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. Espaços Saudáveis, 2006 (Disponível em: <http://www.opas.org.br/ambiente/temas.cfm?id=34&area=conceito>) (Acesso em 04/10/2007)
- Parker, J. The toxic zone. *Buildings Services the CIBSE journal*, v.15, n.03, p. 24- 26, 1993.
- Patrício, J. V. - Comportamento acústico de pavimentos não-homogéneos de edifícios modelo de simulação. Tese de Doutoramento, LNEC, Lisboa, 1999.
- Patrício, J. V. - Isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão. Metodologias de caracterização. Lisboa, LNEC, 1999.
- Patricio, J.. Acústica nos Edifícios. 2003
- Paule, B.; Scartezzini, J.-L.: Leso-DIAL, a New Computer-Based Daylighting Design Tool To be presented at the Right-Light 4 Conference, Copenhagen, November, 1997
- Pearce, D. e Markandya, A.. L'évaluation monétaire des avantages des politiques de l'environnement. Paris, OCDE, 1989

- Piedade, A. Canha. Exigências Funcionais, IST, Lisboa; Outubro de 1986
- Piedade, A. Canha; Rodrigues, A. Moret e Roriz, Luís F.. Climatização em Edifícios - Envolvente e Comportamento Térmico; Edições Orion. Amadora, 2000
- Pinto, Amândio Teixeira. Sistemas Ligantes Obtidos por Activação Alcalina do Metacaulino. Tese de Doutoramento, 2004
- PNAC - Programa Nacional para as Alterações Climáticas
- ProTeste Online: <http://www.deco.proteste.pt/prevencao/radao-um-inquilino-indesejavel-s348991.htm> (consultada em Janeiro de 2009)
- PT 251 - DECO; Proteste - A Voz do Consumidor, n.º 251 de Outubro de 2005
- PT 252 - DECO; Proteste - A Voz do Consumidor, n.º 252 de Novembro de 2004
- PT 254 - DECO; Proteste - A Voz do Consumidor, n.º 254 de Janeiro de 2005
- PT 64 - DECO; Proteste - A Voz do Consumidor, Teste Saúde n.º 64 de Dezembro 2006/ Janeiro de 2007
- Raw, G. Indoor air quality: Key sources of pollution. Buildings Services the CIBSE journal, v.19, n.05, p.27-28, 1997
- Roaf, Susan C.. Education on a Climatic Change. Proceedings de PLEA 2001 - International Conference on "Passive and Low Energy Architecture". Florianópolis, Brasil, Novembro 2001
- Robertson, G. Sick Buildings - Effects, causes, analysis and prevention. In: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Rehabilitation of Damaged Buildings. Bethlehem, Le High University, 1995. p. 70 - 88
- Rovers, Ronald. Sustainable Building - an International Overview of Current and Future Activities. Proceedings de PLEA 2001 - International Conference on "Passive and Low Energy Architecture". Florianópolis, Brasil, Novembro 2001
- Rohles, Frederick H.; Woods, James E.; Morey, Philip E.. Occupant Perception of the Work Environment. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, Volume 31, Number 10, pp. 1105-1108(4), 1987
- Roulet, C.-A., Flourentzou, F., Labben, H. H., Santamouris, M., Koronaki, I., Dascalaki, E., Richalet, V. ORME: A multicriteria rating methodology for buildings. Building and Environment n.37, pp.579-586, 2002
- Roulet, C.-A., Flourentzou, F., Santamouris, M., Koronaki, I., Dascalaki, E., Richalet, V. ORME: Office Building Rating Methodology for Europe. Office Project Report, University of Athens, 1999
- Roy, B. Problems and Methods with Multiple Objective Functions, Mathematical Programming, 1 (2), 1971
- Roy, B. The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods. Theory and Decision. 31, 49-73, 1991
- Roy, B., Bouyssou, D. Aid multiple a la decision: methods et cas Economica, 1993
- Roy, B.. Methodologie Multicriterie d'aide a la decision, Economica, Paris, 1985
- Ruck, Nancy. Daylighting Buildings in the 21st Century. Jornada Técnica AIE - Programas Solar Heating and Cooling (SHC) e Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS), Espinho, 15 a 17 de Junho de 2005

Saaty, T.. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15, p. 234-281, 1977

Sabbatini, F.H.. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formula e aplicação de uma metodologia. São Paulo, 1989. Tese (Doutoramento) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Salomon, V.P.; Montevechi, J. A. B.; Pamplona, E. O.. Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica. In: Anais do XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 1999, Rio de Janeiro, 1999

Santamouris, Mat . Energy in the Urban Built Environment: The Role of Natural Ventilation. *Natural Ventilation in The Urban Environment – Assessment and Design*. Editors: Cristian Ghiaus e Francis Allard. Earthscan, 2005

Santos, António J.. A Iluminação Natural na Perspectiva da Reabilitação dos Edifícios. Prelecção efectuada no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil - Disciplina de Reabilitação das Construções, Universidade do Minho, Junho de 2005

Santos, António J.. Caracterização das condições ambientais de iluminação natural nos edifícios com base na avaliação “in situ””, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

([http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/civil\\_edificacoes\\_ii.htm](http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/civil_edificacoes_ii.htm)) (em 15/04/09)

Santos, António J.. Desenvolvimento de uma Metodologia de Caracterização das Condições de Iluminação Natural nos Edifícios Baseada na Avaliação “in situ”. LNEC/FCUL, Lisboa, 2001. Dissertação de Mestrado

Santos, Gabriela, Tecnologias de Tratamento de Ar e Água, Porto, 2006

Santos, I.. Qualidade do ar interior: a experiência dos EUA, Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior, Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 2006

Scharlig, A. Décider sur plusieurs critères. Lausanne, Suisse, Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, 1985

Schulz, M. 1997. Presidential address. *European Aggregates (Official Journal of UEPG, European Aggregates Association)*, 1/97, 1.

Seeling, M.. A ventilação e a qualidade do ar em ambientes fechados - uma introdução com foco na fumaça ambiental de cigarro, Universidade Federal de Pelotas

Sema, Rapport de recherche n.81. Electre III, un algorithme de classements fondé sur une representation floue des préférences en présence de critères multiples, Paris, França, 1977.

Seppänen, O.A.; Fisk, W.J. e Mendell, M.J.. Association of ventilation rates and CO<sub>2</sub>-concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings, *Indoor Air*, 9, 226-252, 1999.

Seppanen, O.; Fisk, W. e Lei, Q. W.. (2006). Ventilation and Performance in Office Work. *Indoor Air*, Vol 16, pp 28 - 35

Sherman, M.H.. ASHRAE'S Residential Ventilation Standard: Exegesis of Proposed Standard 62.2. Indoor Environment Department, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2005

(<http://www.cibse.org/pdfs/ASHRAE%20residential%20vent.pdf> em 05/05/2008)



- Silva, C.. Monóxido de carbono - Um perigo que não deve ignorar, a 18/04/09 em <http://capsilva.blogspot.com/2009/04/monoxido-de-carbono-co-um-perigo.html>
- Silva, P.. Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE, Universidade do Minho, 2006
- Silva, G.. Qualidade do ar interior: fontes de poluição interiores e exteriores - materiais ecologicamente limpos e medidas de mitigação e controle da poluição interior; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008
- Simulation Research Group (SRG), Lawrence Berkeley National Laboratory and James J. Hirsch and Associates. (1998). "Overview DOE-2.2." [http://www.doe2.com/Download/Docs/22\\_oview.pdf](http://www.doe2.com/Download/Docs/22_oview.pdf).
- Simulation Research Group (SRG), Lawrence Berkeley National Laboratory and James J. Hirsch and Associates. Overview DOE-2.2. 1998 ([http://www.doe2.com/Download/Docs/22\\_oview.pdf](http://www.doe2.com/Download/Docs/22_oview.pdf)).
- Singh, Virinder. The work that goes into renewable energy. Renewable Energy Policy Project. Research Report no. 13, November 2001
- Souza, F.. Efeitos da Poluição Sonora no Sono e na Saúde em Geral - Ênfase Urbana, Departamento de Fisiologia e biofísica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (a 17/04/09 em <http://www.icb.ufmg.br/lpf/2-1.html>)
- Souza, M. A. A. de.. Metodologia de analisis de decisiones para seleccionar alternativas de tratamiento y uso de aguas residuales. Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil. Brasília, 1997
- Souza, M. A. A.. Methodology for Selection of Wastewater Treatment Processes. PhD Thesis. Birmingham, UK: School of Civil Engineering, The University of Birmingham, 1992
- Souza, M. A. A.; e Forster, C. F.. Metodologias para Seleção de Processos de Tratamento de Águas Residuárias. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Ano I, v. 2, p. 19-31, Abril/Junho 1996
- Strand, R. K., and Pedersen, C. O.. Modularization and Simulation Techniques for Heat Balance Based Energy and Load Calculation Programs: The Experience of the ASHRAE Loads Toolkit And EnergyPlus. Proceedings of Building Simulation 2001, Rio de Janeiro, Brazil, IBPSA, 43-50 pp. 2001
- Sundell, J.. On the history of indoor air quality and health. Indoor Air 2004; 14 (suppl 7): 51 - 58
- Taha, H. A.. Operations Research. Upper Saddle River, EUA, Pearson Education Inc, 2003
- Teclé, A.; Fogel, M.; e Duckstein, L.. Multicriterion Selection of Wastewater Management Alternatives. Journal of Water Resources Planning and Management Division, Proceedings of ASCE, 114 (4), 383-398, 1988
- Teixeira Pinto, Amândio; Sistemas Ligantes Obtidos por Activação Alcalina do Metacaulino; Dissertação Apresentada na Universidade do Minho para Obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil; Fevereiro de 2004
- The Lighting Association: <http://www.lightingassociation.com/>
- Tirone, L.. Construção sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã, Sintra, 2008
- Tuomisto, Jormal Indoor Air\_Quality Classifications in\_Finland, Vilnius, 2009
- U.S. Department of Energy (U.S. DOE).. Building Energy Software Tools Directory. 2007 (<http://www.energytoolsdirectory.gov>)

Ulrich, Roger; Quan, Xiaobo; Zimring, Craig; Joseph, Anjali; Choudhary, Ruchi. The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21st Century: A Once-in-a-Lifetime Opportunity. Report to The Center for Health Design for the Designing the 21st Century Hospital Project. Setembro de 2004

UN Summit, Johannesburg, 2002 - No 100/2002 - 23 August 2002 - UN World Summit on Sustainable Development - Johannesburg, 26/08 - 04/09 de 2002

University of Strathclyde. Unit 6 Thermal Comfort. Course 16293: Environmental Engineering Science 1. Course material for Energy Systems Research Unit, (ESRU), University of Strathclyde. 2006

US.EPA. Buildings and the Environment: A Statistical Summary. Dezembro de 2004 (Disponível em: [www.epa.gov/greenbuildings/pubs/gbstats.pdf](http://www.epa.gov/greenbuildings/pubs/gbstats.pdf))

Valente, João Carlos. RSECE – Qualidade do Ar Interior, Seminário de Certificação Energética, 2008

Viegas, João Carlos. Ventilação Natural de Edifícios de Habitação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1996

Von Landsberg, D.. The European Lime Industry - Production and Applications of Lime and Market Situation. Information document of EuLA (European Lime Association), Office Cologne, 5pp. 1995

Waltz, P. James, Computerized Building Energy Simulation Handbook, Marcel Dekker, 2000.

Ward, G.J. . The Radiance Lighting Simulation and Rendering System Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, 1994

Ward, G.J.; Shakespeare, R.; & al.: Rendering with RADIANCE: the Art and Science of Lighting Visualization Morgan Kaufmann Publishers, San Fransisco, USA, to be published, January 1998

Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P.O., Gyntelberg, F., Hanssen, S.O., Harrison, P, Pickering, A., O Seppänen, O., and Wouters, P.: Ventilation and health in nonindustrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN), Indoor Air 2002; 12: 113–128, INDOOR AIR, ISSN 0905-6947. 2002

Wargocki, P.; Wyon, D.P.; Baik, Y.K.; et al.. Perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads, Indoor 9 (3) 165–179, 1999

Wargocki, Pawel. Sources of Indoor Air Pollution, Technical University of Denmark, Denmark, 2009

Wargocki, Pawel. The effects of Indoor Air Quality on comfort – Perceived Air Quality. Technical University of Denmark, Denmark, 2009

Wargocki, Pawel. The effects of Indoor Air Quality on human performance. Technical University of Denmark, Denmark, 2009

WBDG - Whole Building Design Guide: <http://www.wbdg.org/>

WHO European Centre for Environment and Health: Strategic approaches to indoor air policymaking, Bilthoven, Nederland, 1999, EUR/ICP/EHBI 04/02/2002

WHO-Europe, 2000: The Right to Healthy Indoor Air, European Centre for Environment and Health (WHO/ECEH), Bilthoven Division, 15.-17. May 2000, EUR/00/5020494, E69828/World Health Organization, Regional office for Europe, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark. 2000

Wikipedia, a 20/04/09 em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Adapta%C3%A7%C3%A3o\\_\(biologia\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Adapta%C3%A7%C3%A3o_(biologia))

Wikipedia (2), a 20/04/09 em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ozono>

Wikipédia (3), a 20/04/09 em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Rad%C3%A3o>

- Winkelmann, F. C., Bridesall, B. E., Buhl, W. F., Ellington, K. L. and Erdem, A. E. (1993). "DOE-2 Supplement Version 2.1E", LBL-34947, 810 pp. November 1993
- Witte, Michael J.; Henninger, Robert H. ; Glazer, Jason e Crawley, Drury B.. Testing and Validation of a New Building Energy Simulation Program. in Proceedings of Building Simulation 2001, pp. 353-360. Rio de Janeiro, Brazil, August 2001
- Wolf, P.. Auswahl-und Bewertungskriterien für Kleine Klarangen. Abwassertechnik, v.38, n. 2, p 5-7, 1987
- Wouters, P. (red.), Clausen, G, Hanssen, S.O. et al.. Ventilation, good Indoor Air Quality and rational use of energy, Report No 24, Institute for Environment and Sustainability, the Institute for Health and Consumer Protection of the EC, Joint Research Centre and the European Collaborative Action (ECA) "Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure", Ispra, Italy, Draft report August 2002
- Xu, P., Haves, P., and Deringer, J.. A Simulation-based testing and training environment for building controls. SimBuild 2004, Building Sustainability and Performance Through Simulation, Boulder, CO, USA, 8 pp. 2004
- Xu, P., Haves, P., and Moosung, K.. A Semi-Automated Functional Test Data Analysis Tool. 13th National Conference on Building Commissioning, New York City, NY, May 4-6, 2005, 13 pp. 2005
- Yu J., et al. Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China. Energy and Buildings 40, 1536–1546. 2008
- Zeleny, Milan. Multiple Criteria Decision Making. Mc Graw-Hill, 1982
- Zhu, Y.. Applying computer-based simulation to energy auditing: A case study. Energy and Buildings 38, 421–428, 2006
- Ziai, Niki. Measuring Building Performance Energy Efficiency Software Tools. Sustainability and the Built Environment. 2006
- Zopounidis, C. e Doumpos, M.. PREFDIS: A multicriteria decision support system for sorting decision problems. Computers and Operations Research, 27, 779-89., 2000