



Ambiente Construído e Estratégias Sustentáveis

Maria Teresa Barbosa - Manuela Almeida - José Alberto Castañon
(Organizadores)

© Editora UFJF, 2019

Este livro ou parte dele não pode ser reproduzido por qualquer meio sem autorização expressa da editora. O conteúdo desta obra, além de autorizações relacionadas à permissão de uso de imagens ou textos de outro(s) autor(es), são de inteira responsabilidade do(s) autor(es) e/ou organizador(es).



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

REITOR

MARCUS VINICIUS DAVID

VICE-REITORA

GIRLENE ALVES DA SILVA



DIRETOR DA EDITORA UFJF

JORGE CARLOS FELZ FERREIRA

CONSELHO EDITORIAL

JORGE CARLOS FELZ FERREIRA (PRESIDENTE)

CHARLENE MARTINS MIOTTI

ELSON MAGALHÃES TOLEDO

EMERSON JOSÉ SENA DA SILVEIRA

JAIR ADRIANO KOPKE DE AGUIAR

MARIA LÚCIA DURIGUETTO

RAFAEL ALVES BONFIM DE QUEIROZ

RODRIGO ALVES DIAS

TAÍS DE SOUZA BARBOSA

PROJETO GRÁFICO, EDITORAÇÃO E CAPA

ALEXANDRE AMINO MAULER

NICOLE STOPA DE MELLO - BOLSISTA TP

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFJF

Ambiente construído e estratégias sustentáveis [recurso eletrônico] /
Maria Teresa Barbosa, Manuela Almeida, José Alberto Castañon
(organizadores). -- Juiz de Fora : Editora UFJF, 2019.
Dados eletrônicos (1 arquivo: 10,4mb)

ISBN 978-85-93128-54-7

1. Arquitetura sustentável. 2. Construção civil. 3. Construção
sustentável. 4. Economia ambiental. I. Barbosa, Maria Teresa Gomes.
II. Almeida, Manuela Guedes de. III. Castañon, José Alberto Barroso.
IV. Título.

CDU 72:504.062

Este livro obedece às normas do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa,
promulgado pelo Decreto n. 6.583 de 29 de setembro de 2008.



EDITORA UFJF

RUA BENJAMIN CONSTANT, 790

CENTRO - JUIZ DE FORA - MG - CEP 36015-400

FONE/FAX: (32) 3229-7646 / (32) 3229-7645

editora@ufjf.edu.br / distribuicao.editora@ufjf.edu.br

www.ufjf.br/editora

Filiada à ABEU



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – ROTULAGEM AMBIENTAL NO CONTEXTO BRASILEIRO

FIGURA 1 – RESUMO DOS ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS E DOS COMPONENTES	16
FIGURA 2 – COMPARATIVO DE EMISSÃO DE CO ₂ NA PRODUÇÃO DO CIMENTO	17
FIGURA 3 – LOGOTIPOS DE RÓTULOS AMBIENTAIS BRASILEIROS	20

CAPÍTULO 2 – OBRAS DE INFRAESTRUTURA INTELIGENTES

FIGURA 1 – PAINEL FOTOVOLTAICO EM BARREIRA SONORA	27
FIGURA 2 – INSTALAÇÃO DE TURBINA AO LONGO DE RODOVIAS	28
FIGURA 3 – POSTE DE ILUMINAÇÃO HÍBRIDO	29
FIGURA 4 – ESQUEMA DE PAVIMENTO PERMEÁVEL	30
FIGURA 5 – PAVIMENTO PERMEÁVEL	30
FIGURA 6 – PAVIMENTO DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO SEMICONDUTORES	32

CAPÍTULO 3 – PAISAGEM SONORA E AMBIENTE CONSTRUÍDO

FIGURA 1 – ESCALA LINEAR E ESCALA LOGARITIMICA	38
FIGURA 2 – CATEGORIZAÇÃO DE FONTES SONORAS	41
FIGURA 3 – DIAGRAMA DE CONSTRUÇÃO DA PAISAGEM SONORA	42
FIGURA 4 – MODELO CONCEITUAL DE CONTEXTOS	43
FIGURA 5 – COMPONENTES DA PAISAGEM SONORA EM RELAÇÃO À REAÇÃO INDIVIDUAL AO AMBIENTE SONORO	45

CAPÍTULO 5 – ACREDITAÇÃO HOSPITALAR EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS À SAÚDE

FIGURA 1 – ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA ONA	72
FIGURA 2 – RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO	76

CAPÍTULO 7 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E SUA CONTRIBUIÇÃO NA PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO

FIGURA 1 – ESTÁGIOS PRINCIPAIS DE UM INCÊNDIO REAL	95
FIGURA 2 – INFLUÊNCIA DO AUMENTO DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO	99
FIGURA 3 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	100
FIGURA 4 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO AÇO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	100

CAPÍTULO 8 – VIABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS RESIDENCIAIS

FIGURA 1 – ETAPAS DE UM EMPREENDIMENTO	107
--	-----

CAPÍTULO 9 – MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO PARA DESENVOLVIMENTO DE EDIFICAÇÕES MAIS SUSTENTÁVEIS

FIGURA 1 – FASES CONVENCIONAIS DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO E PROCESSOS CONTEMPLADOS NA BASE DE DADOS DE ACV DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	127
FIGURA 2 – MODO COMO A INFORMAÇÃO AMBIENTAL DE UMA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA ESTÁ ESTRUTURADA NA BASE DE DADOS DE AICV	130
FIGURA 3 – ESTRUTURA DA METODOLOGIA SBTOOL ^{PT}	132
FIGURA 4 – CERTIFICADO DE SUSTENTABILIDADE (EXEMPLO) DO MÉTODO SBTOOL ^{PT}	136
FIGURA 5 – ESTRUTURA DA METODOLOGIA BREEAM	137
FIGURA 6 – CATEGORIAS DE SUSTENTABILIDADE EA IMPORTÂNCIA DE CADA UMA NA PONTUAÇÃO GERAL	142

CAPÍTULO 10 – PAINÉIS MODULARES PRÉ-FABRICADOS NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA: CONTRIBUTO PARA EDIFÍCIOS NZEB

FIGURA 1 – TEMPERATURA DO AR NO PORTO – NORMAIS CLIMATOLÓGICAS – VALORES MÍNIMOS E MÉDIOS	155
FIGURA 2 – O EDIFÍCIO CASO DE ESTUDO EM VILA NOVA DE GAIA, PORTO, PORTUGAL	155
FIGURA 3 – ORIENTAÇÃO DO EDIFÍCIO E VISTA AÉREA	156
FIGURA 4 – PLANTA TIPO	156
FIGURA 5 – TERMOGRAFIA NA FACHADA SUL DO EDIFÍCIO	158
FIGURA 6 – PERCENTAGEM DE TEMPO FORA DO INTERVALO DAS TEMPERATURAS DE CONFORTO	158
FIGURA 7 – COMPOSIÇÃO DO PAINEL	159
FIGURA 8 – PROTÓTIPO DO PAINEL MODULAR	160
FIGURA 9 – MONTAGEM DE PROTÓTIPOS NA CÂMARA TÉRMICA COM INDICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS	160
FIGURA 10 – TEMPERATURA SUPERFICIAL (°C) MEDIDA NA ZONA CORRENTE E NA ZONA DE LIGAÇÃO ENTRE PAINÉIS AO LONGO DE 48 HORAS DE ENSAIO	161
FIGURA 11 – FLUXO DE CALOR MEDIDO NO PROTÓTIPO AO LONGO DE 48 HORAS DE ENSAIO NA ZONA CORRENTE E NA ZONA DE LIGAÇÃO ENTRE PAINÉIS	161
FIGURA 12 – FLUXO DE CALOR QUE ATRAVESSA O MÓDULO PARA AS DIFERENTES POSIÇÕES DOS FLUXÍMETROS	162
FIGURA 13 – PERFIS DE TEMPERATURA NA ZONA CORRENTE DO PAINEL; PERFIS DE TEMPERATURA NA ZONA DA JUNTA ENTRE PAINÉIS; ESCALA DE TEMPERATURA	164
FIGURA 14 – PERFIL DE TEMPERATURA PARA A SOLUÇÃO S1 (6 CM); PERFIL DE TEMPERATURA PARA A SOLUÇÃO S2 (8 CM); PERFIL DE TEMPERATURA PARA A SOLUÇÃO S3 (10 CM); ESCALA DE TEMPERATURA	166
FIGURA 15 – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA PARA A SOLUÇÃO INICIAL (S0- SEM A MANTA DE LÃ DE ROCHA NA INTERFACE) E PARA A SOLUÇÃO FINAL (COM A MANTA DE LÃ DE ROCHA DE 10 CM NA INTERFACE)	167
FIGURA 16 – ESTRUTURA DE CUSTOS DA SOLUÇÃO FINAL	167
FIGURA 17 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CÁLCULO DO CUSTO ÓTIMO	169
FIGURA 18 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CÁLCULO DO CUSTO ÓTIMO	172

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – ROTULAGEM AMBIENTAL NO CONTEXTO BRASILEIRO

TABELA 1 – ROTULAGENS AMBIENTAIS	18
----------------------------------	----

CAPÍTULO 2 – OBRAS DE INFRAESTRUTURA INTELIGENTES

TABELA 1 – ANÁLISE COMPARATIVA DAS RODOVIAS FOTOVOLTAICAS	26
TABELA 2 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PAVIMENTOS RÍGIDOS E OS PERMEÁVEIS	31
TABELA 3 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O PAVIMENTO RÍGIDO TRADICIONAL E O FOTOCATALÍTICO	33

CAPÍTULO 4 – GESTÃO E APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA

TABELA 1 – RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO (TONELADA E PERCENTUAL) RECEBIDOS NOS CENTROS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS NO ESTADO DA VIRGÍNIA (EUA)	52
TABELA 2 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO NO ESTADO DE VIRGÍNIA (EUA)	52
TABELA 3 – QUANTIDADE DE RESÍDUOS GERADOS PELA FPJ	53
TABELA 4 - QUANTIFICAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA NO BRASIL	54
TABELA 5 – UNIDADES DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS DE GALHOS E DE PODAS POR CIDADES BRASILEIRAS	55
TABELA 6 – UNIDADES DE COMPOSTAGEM (PÁTIO OU USINA) POR CIDADE BRASILEIRA	56

CAPÍTULO 5 – ACREDITAÇÃO HOSPITALAR EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS À SAÚDE

TABELA 1 – NÍVEIS DE ACREDITAÇÃO ONA	74
TABELA 2 – DIFICULDADES ENCONTRADAS DURANTE O PROCESSO DE ACREDITAÇÃO	79

CAPÍTULO 6 – O CONTROLE DE PROJETO PARA PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS NAS FACHADAS DAS EDIFICAÇÕES

TABELA 1 – RESUMO DAS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS DE FACHADAS	88
TABELA 2 – EXEMPLO DE ANÁLISE DE MECANISMOS DE FALHAS PARA PROJETO DAS FACHADAS EM REVESTIMENTO ARGAMASSADOS	91

CAPÍTULO 7 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E SUA CONTRIBUIÇÃO NA PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO

TABELA 1 – FASES DE UM INCÊNDIO E SUA RELAÇÃO COM OS MATERIAIS	96
TABELA 2 – EXEMPLOS DE PROTEÇÕES ATIVAS E PASSIVAS	101

CAPÍTULO 8 – VIABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS RESIDENCIAIS

TABELA 1 – CÁLCULO DO VGV	112
TABELA 2 – GASTOS PRELIMINARES	113

TABELA 3 – RESUMO DOS CUSTOS	113
TABELA 4 – VALORES INCIDENTES SOBRE VGV	113
TABELA 5 – LUCRO FINAL ESTÁTICO	114
TABELA 6 – CENÁRIO PARA VPL	114
TABELA 7 – CENÁRIO PARA TIR E PAYBACK	115

CAPÍTULO 9 – MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO PARA DESENVOLVIMENTO DE EDIFICAÇÕES MAIS SUSTENTÁVEIS

TABELA 1 – INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL CONSIDERADOS NA BASE DE DADOS DE ACV DESENVOLVIDA	125
TABELA 2 – MÉTODO ACV E UNIDADES UTILIZADAS NA QUANTIFICAÇÃO DE CADA UMA DAS CATEGORIAS DE IMPACTO AMBIENTAL	129
TABELA 3 – PRINCÍPIO A ADOTAR PARA A QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS DE CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO	131
TABELA 4 – LISTA DE CATEGORIAS E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA METODOLOGIA SBTOOL ^{PT}	133
TABELA 5 – CONVERSÃO DOS VALORES NORMALIZADOS QUANTITATIVOS PARA UMA ESCALA QUALITATIVA	134
TABELA 6 – FATORES DE PONDERAÇÃO DE CADA DIMENSÃO DE SUSTENTABILIDADE DA METODOLOGIA SBTOOL ^{PT}	135
TABELA 7 – LISTA DE CATEGORIAS E ASPECTOS BREEAM INTERNACIONAL PARA CONSTRUÇÃO NOVA DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS	138
TABELA 8 – LISTA DE CATEGORIAS E FATORES DE PONDERAÇÃO BREEAM UK E BREEAM INTERNACIONAL PARA EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS	139
TABELA 9 – LISTA DAS CATEGORIAS, PRÉ-REQUISITOS E INDICADORES DA LEED V4 PARA EDIFÍCIOS NOVOS E GRANDES RENOVAÇÕES	140
TABELA 10 – PESO DAS PRINCIPAIS CATEGORIAS DA LEED V4 DE ACORDO COM O TIPO DE PROJETO	141
TABELA 11 – PRINCIPAIS DETALHES, SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS ENTRE O LEED E O BREEAM	142
TABELA 12 – COBERTURA DAS ÁREAS CHAVE DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL PELA LEED E BREEAM PARA HABITAÇÃO FAMILIAR	143

CAPÍTULO 10 – PAINÉIS MODULARES PRÉ-FABRICADOS NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA: CONTRIBUTO PARA EDIFÍCIOS NZEB

TABELA 1 – DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO CASO DE ESTUDO EM VILA NOVA DE GAIA	157
TABELA 2 – RESISTÊNCIA TÉRMICA DO PROTÓTIPO	163
TABELA 3 – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO NUMÉRICA – ERROS MÉDIOS ENTRE O MODELO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO	164
TABELA 4 – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DA SOLUÇÃO “PAINEL + MANTA DE LÃ DE ROCHA + PAREDE EXISTENTE” NA ZONA DA JUNTA E NA ZONA CORRENTE DO MÓDULO PARA DIFERENTES TIPOS E ESPESSURAS DE LÃS DE ROCHA E RESPECTIVOS PREÇOS	165
TABELA 5 – COMBINAÇÕES DE PACOTES DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA	170
TABELA 6 – COMBINAÇÃO DE SISTEMA PARA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA	171
TABELA 7 – COMBINAÇÃO A APLICAR NO EDIFÍCIO	171

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 11

CAPÍTULO 1 – ROTULAGEM AMBIENTAL NO CONTEXTO BRASILEIRO 13

Clarissa Dias de Souza; Maria Teresa Barbosa

INTRODUÇÃO	13
ECOFICIÊNCIA	14
CICLO DE VIDA DO PRODUTO	15
ROTULAGEM AMBIENTAL	17
CENÁRIO BRASILEIRO DE ROTULAGEM AMBIENTAL	19
CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	22

CAPÍTULO 2 – OBRAS DE INFRAESTRUTURA INTELIGENTES 24

Belayne Marchi; José Alberto Castañon

INTRODUÇÃO	24
RODOVIA FOTOVOLTAICA	25
ENERGIA EÓLICA	27
PAVIMENTO PERMEÁVEL	29
PAVIMENTO DE BLOCO DE CONCRETO FOTOCATALÍTICO	31
CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	34

CAPÍTULO 3 – PAISAGEM SONORA E AMBIENTE CONSTRUÍDO 37

Guilherme Valle Loures Brandão; Wilian Daniel Henriques do Amaral; José Alberto Castañon

INTRODUÇÃO	37
CONCEITOS BÁSICOS	37
AMBIENTE ACÚSTICO	39
PAISAGEM SONORA	40
AVALIANDO A PAISAGEM SONORA	43
CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	46

SUMÁRIO

CAPÍTULO 4 - GESTÃO E APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA **48**

Maximiliano Magalhães; Maria Aparecida Steinhez Hippert

INTRODUÇÃO	48
ARBORIZAÇÃO URBANA	49
RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA	50
GESTÃO DOS RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA	51
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA	58
CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	63

CAPÍTULO 5 – ACREDITAÇÃO HOSPITALAR EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS À SAÚDE **67**

Sheila Faria; Maria Aparecida Steinhez Hippert

INTRODUÇÃO	67
HOSPITAL E ACREDITAÇÃO	68
HOSPITAL E PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS	70
ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE ACREDITAÇÃO (ONA)	72
ACREDITAÇÃO HOSPITALAR NO BRASIL	73
O PROCESSO DE ACREDITAÇÃO DE UM HOSPITAL DE GRANDE PORTE	77
CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS	81

CAPÍTULO 6 – O CONTROLE DE PROJETO PARA PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS NAS FACHADAS DAS EDIFICAÇÕES **85**

Ana Flávia Ramos Cruz; Vicente Rosse; Maria Teresa Barbosa

INTRODUÇÃO	85
FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS EXTERNOS ARGAMASSADOS	87
O PROJETO DE REVESTIMENTO DE FACHADA	89
EXEMPLO DE ANÁLISE DO MECANISMO DE FALHAS	90

SUMÁRIO

CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS	92

CAPÍTULO 7 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E SUA CONTRIBUIÇÃO NA PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO 94

Jenifer Pugirum Quaglio; Maria Teresa Barbosa

INTRODUÇÃO	94
INCÊNDIO E SUAS ETAPAS	95
RESISTÊNCIA AO FOGO DA EDIFICAÇÃO PADRONIZADA	98
ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	101
CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS	103

CAPÍTULO 8 – VIABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS RESIDENCIAIS 105

Gustavo Brega Quinet Andrade; Maria Aparecida Steinhez Hippert

INTRODUÇÃO	105
EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS	106
VIABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS	107
EXEMPLO DE APLICAÇÃO	110
CONCLUSÃO	115
REFERÊNCIAS	116

CAPÍTULO 9 – MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO PARA DESENVOLVIMENTO DE EDIFICAÇÕES MAIS SUSTENTÁVEIS 118

Luís Bragança; Ricardo Mateus

INTRODUÇÃO	118
VISÃO GERAL SOBRE OS MÉTODOS ACV E AS FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS E O SEU CONTRIBUTO PARA A SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO	120

SUMÁRIO

BASE DE DADOS PARA A AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DE CICLO DE VIDA (AICV) DOS EDIFÍCIOS EM PORTUGAL	124
METODOLOGIA SBTOOL ^{PT}	131
METODOLOGIAS BREEAM E LEED	137
CONCLUSÃO	144
REFERÊNCIAS	145

CAPÍTULO 10 – PAINÉIS MODULARES PRÉ-FABRICADOS NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA: CONTRIBUTO PARA EDIFÍCIOS NZEB 151

Manuela Almeida; Ricardo Barbosa

RESUMO	151
INTRODUÇÃO	152
O PROJETO DE INVESTIGAÇÃO MORE-CONNECT	154
O EDIFÍCIO CASO DE ESTUDO EM PORTUGAL	154
DESENVOLVIMENTO E TESTE DO PROTÓTIPO DO PAINEL MODULAR	159
SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ALTERNATIVAS – COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADA NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CUSTO-ÓTIMO	168
CONCLUSÃO	173
REFERÊNCIAS	173

SOBRE OS ORGANIZADORES 176

APRESENTAÇÃO

Os coordenadores deste livro, fruto da integração e da cooperação de diversos docentes do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora e do *International Doctoral Programme in Sustainable Environment* da Faculdade de Engenharia da Universidade do Minho (Portugal), proporcionam aos leitores o acesso a estudos inovadores desenvolvidos nos decorrer dos últimos anos que muito estão a contribuir para o fortalecimento da pesquisa em prol do desenvolvimento sustentável.

O interesse por projetos sustentáveis, aplicáveis à Indústria da Construção Civil aumentou nos anos 1970, em resposta à alta no preço do petróleo. Essa crise resultou no aprimoramento da “casa solar”, na qual se empregava energia limpa e reciclável. Na época, consideradas construções inovadoras, estabeleceram as bases sobre as quais se desenvolveram os projetos para as *ecohouses* do século XXI.

Em meados da década de 1990 ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, na cidade do Rio de Janeiro, a Eco- 92. Esse evento resultou na Agenda 21, a qual trata do conceito fundamental de desenvolvimento sustentável que, em resumo, significa: “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração atual sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987), sendo rediscutido e reafirmado na Rio +20, no ano de 2012 e em inúmeros eventos que ocorrem até a atualidade em diversos países.

O conceito de construção sustentável caracteriza-se, portanto, por considerar fatores ambientais, sociais (sociocultural) e econômicos (custo-benefício) e, recentemente, os aspectos culturais, as implicações do patrimônio cultural do ambiente construído e os fatores institucionais (gestão-sociedade) também passaram a ser considerados relevantes no contexto de desenvolvimento sustentável.

Destaca-se, inclusive, os quatro princípios básicos que juntos devem determinar um desenvolvimento sustentável, a saber: a preocupação com as gerações futuras, a proteção da integridade dos ecossistemas, a população economicamente pobre e a participação da população nas decisões que a afeta. Nesse contexto, o grupo de docentes e discentes autores dos capítulos que compõem esse segundo livro da série iniciada com “Ambiente Construído”, propõem contribuir para o fortalecimento do desenvolvimento sustentável através do intercâmbio de pesquisas e conhecimentos entre as instituições parceiras, UFJF/ UMinho. A presente obra é reflexo do crescente interesse diversos setores da sociedade no assunto, tendo em vista os investimentos em pesquisas, projetos e execução de ideias que tendem a contribuir para a redução dos impactos ambientais, sociais e econômicos estimulando o fortalecimento do conceito de sustentabilidade.

Os diferentes tópicos abordados neste livro buscam suprir os leitores das diferentes áreas de atuação no setor. Assim, os autores tiveram a liberdade na abordagem dos assuntos que lhe foram destinados, respeitando as especialidades de cada um. Além disso, há que se destacar a pluralidade de pontos de vista apresentados, decorrentes tanto do caráter multidisciplinar dos artigos quanto do intercâmbio luso-brasileiro, que a engrandece a obra.

Aos colegas que cooperaram para a elaboração deste livro cumprimento-os pela contribuição aqui concedida aos profissionais interessados no tema proposto. Aos amigos portugueses meus sinceros agradecimentos pelo fortalecimento e consolidação de nossos laços profissionais que muito vêm contribuindo para agigantar nossas pesquisas junto ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído.

Convido os leitores uma avaliação crítica deste trabalho, de modo a propor outros temas que venham contribuir para o *desenvolvimento sustentável*.

Maria Teresa Barbosa

CAPÍTULO 1

ROTULAGEM AMBIENTAL

NO CONTEXTO BRASILEIRO

CLARISSA DIAS DE SOUZA; MARIA TERESA BARBOSA¹
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade, usualmente, designa o bom uso dos recursos naturais do planeta e está relacionada aos aspectos ambientais, econômicos, sociais, institucionais e culturais que governam o desenvolvimento sustentável. Assim, o avanço do desenvolvimento, na atualidade, trata-se de um processo de “formação” de uma nova sociedade de tal forma que atenda as demandas presentes e ao mesmo tempo preserve a biodiversidade e os ecossistemas naturais para as gerações futuras (PINHEIRO, 2006).

Neste contexto, as empresas e a sociedade empenham-se em preservar os recursos naturais não renováveis, considerando, também, os ecossistemas envolvidos e sua capacidade de reabilitação em prol da resposta adequada a uma das principais questões do século atual, a saber: “quais os procedimentos a serem adotados para que se defina e aplique estratégias que garantam o desenvolvimento de forma sustentável?” O que resultará no fortalecimento do conceito de ecoeficiência nos processos e nos produtos (WCED, 1987).

A inserção de práticas ecoeficientes na indústria da construção civil tornou-se uma maneira de ultrapassar o desempenho da concorrência e de se adequar às exigências futuras, pois os processos e produtos incorporam três diretrizes básicas: redução de consumo de recursos naturais; redução de impactos no meio ambiente e aumento da produtividade agregando valor ao produto. Como resultado verifica-se a maximização do consumo de recursos renováveis, a dilatação do ciclo de vida do produto prolongando a sua durabilidade a um custo acessível, e a potencialização da reciclagem de materiais acrescentando valor aos bens e serviços. Assim a economia e a qualidade de vida se fortalecerão enquanto a utilização dos recursos naturais e a poluição diminuirão. (SALGADO, 2004).

¹ E-mail: clarissajf@yahoo.com.br; teresa.barbosa@engenahria.uff.br

Nesse sentido, ações relacionadas à gestão ambiental estão em ascensão nas relações comerciais, interferindo no consumo e na produção de bens e serviços, exigindo das organizações uma nova postura em relação ao meio ambiente.

O procedimento mais adotado no estudo da ecoeficiência de materiais e componentes empregados na construção civil é a Análise do Ciclo de Vida (ACV) - adotada pela primeira vez nos Estados Unidos para avaliar o uso dos recursos quanto a emissões e produção de resíduos causados por diferentes pacotes de bebidas – que atualmente, auxilia as práticas de rotulagem ambiental desses produtos. (BRIBIÁN *et al.*, 2011)

ECOEFIÊNCIA

O conceito de ecoeficiência relaciona competitividade e desenvolvimento sustentável e foi proposto em 1991 pelo *World Business Council for Sustainable Development*:

“Desenvolvimento de produtos e serviços, com preços competitivos que satisfazem as necessidades da espécie humana com qualidade de vida, enquanto progressivamente reduzem o seu impacto ecológico e o consumo de matérias-primas ao longo do seu ciclo de vida, até um nível compatível com a capacidade do Planeta” (BIDOKI *et al.*, 3(4):351–359, 2006).

Dito de outra forma, Saling (2002), ressalta que a eficácia inserida nos materiais e produtos da atualidade visa minimizar o impacto no meio ambiente e pode ser vista como uma relação entre a produção econômica e o impacto ambiental resultado dos produtos ou atividades. Na prática, consiste na maneira de ultrapassar o desempenho da concorrência, tendo como principais objetivos o aumento do valor do produto ou serviço, a otimização do uso de recursos e a redução do impacto ambiental.

A metodologia Análise do Ciclo de Vida (ACV), empregada no estudo da ecoeficiência de materiais e de produtos da indústria da construção civil examina todas as suas etapas, a saber: a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte, a distribuição, o uso, a manutenção, a reciclagem, a reutilização e a disposição final; estando inseridas na análise as categorias: consumo de recursos renováveis e de água, potencial de aquecimento global e de destruição da camada de ozônio, toxicidade (humana e ecológica), dentre outros (HUNT *et al.*, 1996).

No entanto é importante enfatizar que cada categoria de impacto analisada possui sua importância que é variável de região para região, por exemplo, existem locais em que o aumento do consumo de água possui um impacto ambiental superior a outros (países/ regiões áridas). Sendo assim o impacto ambiental possui peso diferente dependendo do lugar onde um produto ou material é produzido (TORGAL, 2011).

A ACV objetiva auxiliar a tomada de decisão, pois um produto aparentemente barato em médio prazo poderá possuir altos custos de gerenciamento e manutenção. Ao contrário, materiais com emissões significativas de CO₂, como o concreto, podem ter suas emissões reduzidas ao longo de sua vida útil, resultando numa “segunda vida” (reaproveitamento de rejeito) como um material de preenchimento em infraestrutura, conseqüentemente, um duplo efeito (BRIBIÁN *et al.*, 2011).

A implementação da ecoeficiência gera cooperação entre as empresas agregando valor aos subprodutos e os resíduos e direcionada ao desperdício zero, ou seja, possibilita produtos com maior rentabilidade e funcionalidade, mercados mais sustentáveis e incentivos às inovações tecnológicas, bem como beneficia o setor privado, possibilitando o crescimento da economia e da qualidade de vida humana e a redução do consumo de recursos não renováveis e da poluição (JOHN *et al.*, 2016).

Assim, a gestão ambiental assume novas características tornando-se proativa e não mais reativa, fortalecendo a multidisciplinaridade em prol do meio ambiente e da sociedade. Contudo, faz-se necessário a utilização do máximo de instrumentos técnicos de controle e de monitoramento ambiental, além do desenvolvimento e do estabelecimento de uma larga base de conhecimento sobre o meio ambiente e os recursos naturais.

CICLO DE VIDA DO PRODUTO

A Análise do Ciclo de Vida (ACV), apesar de ser ampla e até mesmo complexa, pode ser considerada uma das mais apropriadas ferramentas da atualidade, pois permite coletar dados e interpretar resultados buscando soluções para problemas ambientais globais, uma vez que inclui todas as etapas do processo (HINZ, 2008).

A aplicação da ACV foi regulamentada internacionalmente em 1996 sob ISO14040, detalhes adicionais relativos aos métodos são fornecidos nas normas complementares: ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043. Em relação às várias fases da ACV, sua principal desvantagem é a dependência de uma grande disponibilidade de dados sobre os impactos ambientais dos materiais, muitas vezes omitidos pelas indústrias do setor (TORGAL, 2011).

Na ACV, faz-se necessário caracterizar as etapas descritas no diagrama ilustrado pela Figura 1, que exemplifica as principais fases do ciclo de vida do produto. O primeiro passo é a aquisição de matéria-prima (extração de recursos naturais), que é processada para obtenção dos materiais ou peças, por exemplo, plástico ou cimento. Estes materiais já processados são então transformados em produtos, no estágio de manufatura do produto, e podem contaminar o meio ambiente. Em seguida ocorre a embalagem e o transporte, que podem ou não ser de responsabilidade do fabricante. Na etapa do uso deve ser previsto o reuso ou serviços de manutenção que tendem a prolongar a vida útil do produto ou do material e, no seu descarte, deve-se considerar sempre

a possibilidade de reciclagem. Salienta-se que o último estágio da ACV (reciclagem) usualmente não é considerado pelo fabricante, enquanto que a aquisição da matéria-prima e a manufatura são consideradas de responsabilidade da indústria. Entretanto, deve-se produzir um produto ambientalmente responsável minimizando seus impactos ambientais em todos os estágios.

A Análise do Ciclo de Vida, portanto, propõe um exame bastante complexo, com muitas variáveis, pois necessita de um inventário de entradas e de saídas de energia e materiais relevantes para o sistema e, finalmente, avalia os impactos devidos às emissões identificadas e ao consumo de recursos naturais, para que, após a interpretação dos resultados, seja possível propor melhorias no processo (BRIBIÁN *et al.*, 2011).



Figura 1 – Resumo dos estágios do ciclo de vida dos materiais e dos componentes.

Fonte: adaptado de Ribeiro, 2003.

Desse modo podemos verificar que a ACV se preocupa com a preservação ambiental aliada ao desenvolvimento tecnológico e tem como função transformar os fluxos de materiais de forma cíclica e ecológica, de modo a englobar desde a captação dos recursos naturais até o descarte final. A Figura 2 avalia o potencial de aquecimento global pelas emissões de CO₂ realizado pelos cimentos Portland: CP II E (com adição entre 6% e 34% de escória de alto forno, isto é resíduo siderúrgico), CP III (com adição entre 35% e 70% de escória de alto forno) e CP V (alta resistência inicial). Nota-se que o CP III e CP V possuem uma emissão de CO₂ no processo produtivo muito menor. Caso o seu consumo seja priorizado, o total de consumo na etapa A1 (consumo da matéria prima), A2 (transporte) e A3 (processo) será reduzido consideravelmente e seu impacto ambiental conseqüentemente junto.

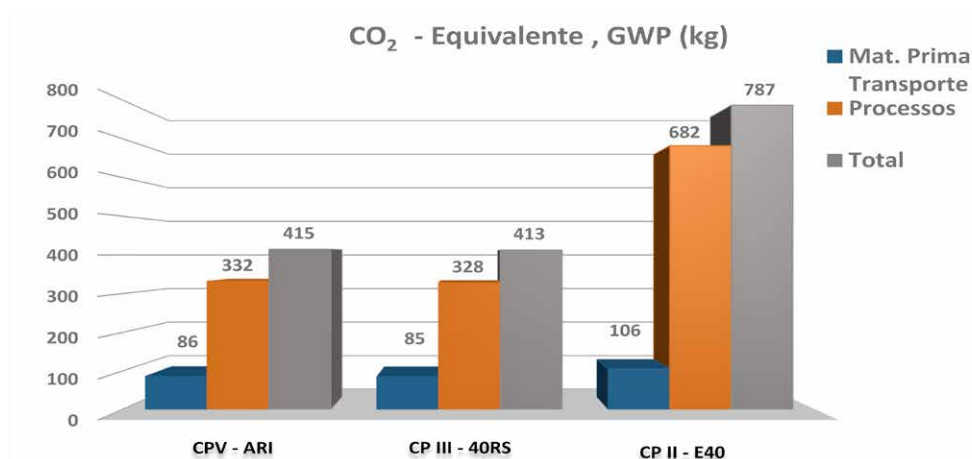


Figura 2 – Comparativo de emissão de CO₂ na produção do cimento.

Fonte: adaptado de Environmental Product Declaration, 2016.

Muitas são as formas de se buscar o desenvolvimento sustentável. Atingi-lo implica promover ações sinérgicas. Trabalhar a sustentabilidade dos materiais significa desenvolver produtos adequados aos usos a que serão submetidos; que proporcionem ao ser humano um ambiente saudável, confortável, seguro, confiável e durável e que, portanto, atendam às necessidades e aos anseios da sociedade em relação à qualidade de vida. Durante sua utilização, os produtos devem proporcionar facilidade de manutenção e economia de gastos, a vida de um produto deve ser prolongada e, no término de sua utilidade, a possibilidade de reuso dos materiais e componentes e sua correta destinação devem estar previstos (JESWANI *et al.*, 2010).

ROTULAGEM AMBIENTAL

Por volta de 1970, a obrigatoriedade de rotulagem de advertências estendeu-se a quaisquer produtos que contivessem substâncias tóxicas controladas. Na mesma década surgiram os rótulos para produtos organicamente cultivados, voluntários, conferidos por entidades ambientais ou etiquetas colocadas pelos próprios produtores, salientando a não utilização de agrotóxicos nos processos produtivos (BIAZIN, 2002).

O primeiro país a criar um sistema de rotulagem ambiental foi a Alemanha. Em 1978 nasceu o *Blauer Engel*, atualmente usado por 11.500 produtos, cobrindo noventa categorias diferentes sendo as mesmas inspecionadas de três em três anos. A criação do programa foi realizada pela aliança entre os Ministérios do Meio Ambiente da Federação Alemã e dos Estados Federados (TORGAL *et al.*, 2011).

A rotulagem ambiental, também conhecida como selo verde, consiste na certificação de produtos que apresentem menor impacto no meio ambiente em relação aos disponíveis no mercado, sendo os materiais e os produtos certificados por entidades regulamentadoras. Os programas de

rotulagem funcionam como instrumento para políticas ambientais e incentivo de mudanças nos padrões de consumo e de produção, informando o consumidor sobre os aspectos ambientais das mercadorias, com o objetivo de diferenciar os produtos com características benéficas de seu concorrente. Os tipos de rotulagem ambientais existentes se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Rotulagens ambientais.

Rotulagens	Norma	Descrição
Tipo I	NBR ISO 14024	São princípios e procedimentos para o desenvolvimento de programas de rotulagem ambiental (Rótulos ecológicos certificados), programas independentes e voluntários baseado em critérios para atribuir rótulos aos produtos permitindo relacionar produtos da mesma categoria com base no desempenho ambiental em consideração ao ciclo de vida procedido
Tipo II	NBR ISO 14021	São os requisitos para auto declarações ambientais, ou seja, declarações desenvolvidas pelos fabricantes, importadores ou distribuidores de modo a comunicar informação sobre um único aspecto ambiental dos seus produtos ou serviços.
Tipo III	NBR ISO 14025	São declarações ambientais de produtos EPD (Environmental Product Declaration). Disponibilizam informação normalizada de ACV sobre um produto ou serviço, através de diagramas que apresentam um conjunto de indicadores ambientais relevantes (aquecimento global, consumo de recursos, produção de resíduos, entre outros).

Fonte: adaptado de Lemos e Barros, 2006

Devido à cooperação da Alemanha, em 1988, o Ministério do Meio Ambiente do Canadá instituiu seu programa de rotulagem denominado *Environmental Choice Program*, que em termos ambientais certifica 7.000 produtos em mais de trezentas categorias. São certificações ambientais voluntárias de atributos múltiplos e baseados no ciclo de vida (TORGAL *et al.*, 2011).

Segundo Torgal (2011), os países do norte da Europa, em 1989, instituíram uma etiqueta ecológica denominada Cisne Branco (Swan), administrada pelas agências de meio ambiente da Suécia, Finlândia, Islândia e Noruega. O programa reúne sessenta grupos de produtos, contando mais de duzentos tipos de produtos diferentes. Durante o mesmo período, nos Estados Unidos nascia uma organização sem fins lucrativos, a *Green Seal*, com a finalidade de criar parâmetros ambientais para produtos e gerar educação ambiental. Essa iniciativa visava usar o método ACV, contudo, devido a seu alto custo, abreviaram uma versão para cada produto, de modo a enfatizar os impactos relevantes para cada categoria.

Na França, o programa de rotulagem *NF Environnement (Norme Française Environnement)* viu-se em 1989. No entanto, devido à oposição inicial por parte da indústria, só ficou totalmente operacionalizado em 1992. A operação e a gestão da certificação são realizadas pela certificação AFNOR, garantindo a qualidade de uso e a qualidade ecológica, e os impactos ambientais são levados em consideração durante todo o ciclo de vida do produto. Pode ser aplicado a todos os tipos de

produtos, exceto em produtos farmacêuticos, agroalimentares, do setor automotivo e de serviços (TRINDADE, 2009).

O avanço das rotulações ecológicas na Europa contribuiu muito para a mudança de comportamento do consumidor frente a sua responsabilidade ambiental. O rótulo ambiental da União Europeia chamado de *Eco-Label* surgiu com o objetivo de promover a redução dos impactos ambientais dos produtos. A estrutura administrativa composta de por membros da Comissão da União Europeia, pretendia, evitar a concorrência entre os programas ambientais adotados individualmente pelos Estados, padronizando os critérios para todos os países e, conseqüentemente, criando condições para a adoção de um único rótulo ambiental na região (TRINDADE, 2009).

As declarações ambientais de produtos ou do inglês *Environmental product declarations* (EPD) podem ter diferentes aplicações como contratos públicos ecológicos e planos de avaliação de construção. Entretanto evidencia-se uma desvantagem dessas em relação aos rótulos ecológicos, já que a primeira não garante à partida de determinado nível de desempenho ambiental, tão somente se limitam a disponibilizar um conjunto de informações que permitem aferir esse fato, mas que só um especialista na área o poderá averiguar (TORGAL *et al.*, 2011).

CENÁRIO BRASILEIRO DE ROTULAGEM AMBIENTAL

O programa de rotulagem ambiental no Brasil foi desenvolvido com base nas experiências de programas mundiais de rotulagem ambiental, sendo o mesmo desenvolvido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entidade privada, sem fins lucrativos reconhecida como órgão normalizador (ABNT, 2004).

Assim, o caminho para uma sociedade brasileira sustentável se fortalece à medida que se desenvolvam critérios focados em aspectos ambientais. A ABNT criou um selo de qualidade ambiental no ano 1993 denominado “ABNT Qualidade Ambiental”, mais apenas em 2008 o programa teve início. Esse selo pretende promover a responsabilidade ambiental e reduzir os impactos negativos relacionados a produtos e serviços, gerando crescimento da conscientização por parte dos fabricantes, dos consumidores e das organizações públicas, destacando as vantagens da adoção de produtos menos danosos ao meio ambiente (ABNT, 2004).

O Selo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) Eletrobrás de Economia de Energia, muito conhecido pelos consumidores, foi instituído por decreto presidencial em 1993, mesmo período em que se iniciou a criação da norma. Seu objetivo é informar e orientar o consumidor durante o ato da compra quais produtos apresentam melhor eficiência energética. Desta forma, busca estimular a produção de produtos mais eficientes (ELETROBRAS, 2014).

O instituto Falcão Bauer da Qualidade implantou em 2008 o selo Falcão Bauer EcoLabel que consiste na rotulação de produtos onde para cada um dos produtos certificados é formada uma Comissão de Certificação, composta por membros do instituto, representantes dos laboratórios

de análise, dos produtores, dos consumidores e demais interessados, que após análise, apresenta cinco padrões de critérios estabelecidos (INSTITUTO FALCÃO BAUER, 2015).

Em 2011, a Fundação Carlos Alberto Vanzolini desenvolveu a certificação de produtos sustentáveis da construção civil, o RGMat, que envolve o selo e a declaração ambiental de produtos, baseados em seus ciclos de vida. Atualmente, o selo é destinado apenas aos materiais e produtos da construção civil, desde os estruturais aos de acabamento (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2012).

O setor da construção civil no Brasil foi o que mais avançou nas certificações. No caso das edificações, atualmente, há três selos: o AQUA uma certificação sustentável adaptada da certificação francesa HQE (Haute Qualité Environnementale) e aplicado no Brasil pela Fundação Vanzolini; o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) administrado pelo *Green Building Council do Brasil* (Conselho para Construções Verdes) e; o Selo Casa Azul da Caixa, que foi desenvolvido por uma equipe técnica da Caixa Econômica Federal, contando com a consultoria de um grupo multidisciplinar de professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, da Universidade Federal de Santa Catarina e da Universidade de Campinas. A Figura 3 apresenta os logotipos dos rótulos brasileiros (GOMES, 2016).



Figura 3 – Logotipos de rótulos ambientais brasileiros.

Fonte: adaptado de Gomes, 2016.

CONCLUSÃO

Muitas são as formas de buscar o desenvolvimento sustentável, atingi-lo implica promover ações sinérgicas. Assim sendo temos que trabalhar a sustentabilidade de modo a desenvolver produtos adequados ao uso proporcionando ao homem um ambiente saudável, confortável, seguro, confiável e durável e que, portanto, atendam às necessidades e aos anseios da sociedade com relação à qualidade de vida. Durante sua utilização, os produtos devem proporcionar facilidade de manutenção e economia de gastos, sua vida deve ser prolongada e, no término de sua utilidade, a possibilidade de reuso e a correta destinação devem estar previstos.

A afirmação de que tais materiais são melhores, ou que provocam menos impacto, é prematura e parcial, sendo necessária não só a avaliação das características físicas e químicas do produto como, também, uma análise integrada do processo, da região na qual será implementado e, da mão de obra disponível.

Atualmente podemos encontrar no mercado alguns produtos que se alto intitulam mais sustentáveis. Contudo alguns deles podem não apresentar vantagens em relação aos convencionais, com seus rótulos podendo ser usados apenas com o objetivo de potencializar a venda. Portanto, é fundamental proceder a avaliação da sustentabilidade do material, de modo a identificar aqueles que realmente irão favorecer um o futuro sustentável.

Além disso, os indicadores utilizados para monitorar o sistema ao longo do tempo devem ser avaliados quanto a sua eficiência. Deve-se definir níveis máximos e mínimos para os indicadores individuais, de acordo com a capacidade de suporte do sistema, bem como atribuir-lhes pesos na formulação de indicadores compostos, de acordo com o seu grau de importância para cada indicador. Isto se deve, comumente, à existência de vários indicadores por atributo, característica ou dimensão de sustentabilidade.

Os programas de rotulagem ambiental podem ser analisados sob dois aspectos: os efeitos sobre o meio ambiente e os efeitos sobre a competitividade internacional. Os dados são escassos para avaliar os efeitos ambientais nos programas existentes, são raras as estimativas disponíveis sobre a eficácia ambiental dos programas de rotulagem ambiental, as quais procuram medir a redução da poluição potencial, sendo difícil isolar e medir os benefícios ambientais dos rótulos, comparativamente aos efeitos provocados pelas demais medidas ambientais. A eficácia, portanto, pode ser avaliada, indiretamente, pela mudança no comportamento do consumidor, demandando produtos ambientalmente corretos e provocando respostas positivas dos produtores.

No Brasil, um país em desenvolvimento, a maioria dos programas existentes adequaram programas internacionais consagrados à realidade brasileira, assumindo erros frente às divergências presentes no território nacional. Nesse contexto vale ressaltar que o objetivo dos selos com esta característica será atender o mercado internacional e não priorizar o próprio país, dificultando a participação dos consumidores internos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA ABNT. NBR 14001: Sistemas da gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BIDOKI, S.; WITTILINGER, R.; ALAMDDAR, A.; BURGER, J. Eco-efficiency analysis of textile coating materials. *Journal of the Iranian Chemical Society*, Alemanha v. 3, n. 4, p. 351-359, 2006.

BIAZIN, C. C. Rotulagem ambiental: um estudo comparativo entre programas. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, Amesterdã v. 46, n. 5, p. 1133-1140, 2011.

ELETOBRAS. *Regulamento do Selo Procel Eletrobrás de Economia de Energia*. 2014. Disponível em <http://www.eletobras.com/elb/procel/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID={B4554B02-34F3-45DB-AF0578A4E7FDC453}&ServiceInstUID={AEBE43DA-69AD-4278-B9FC41031DD07B52}>. Acesso em: 16 jan. 2018.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. Alta Qualidade Ambiental. 2012. Disponível em <http://www.vanzolini.org.br/hotsite-aqua.asp>. Acesso em: 16 jan. 2018.

GOMES, N. S. *Investigação da viabilidade de implementação de programa de rotulagem ambiental de produtos em uma Universidade Federal: estudo de caso da UTFPR*. Tese (Doutorado em Tecnologia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

HINZ, Roberta Tomasi Pires; DALLA VALENTINA, Luiz V.; FRANCO, Ana Claudia. Monitorando o desempenho ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela avaliação do ciclo de vida. *Revista Produção Online*, Santa catarina v. 7, n. 3-4, 2008.

HUNT R. G.; FRANKLIN, W. E.; HUNT, R. LCA: How it came about. *The international journal of life cycle assessment*, Alemanha v. 1, n. 1, p. 4-7, 1996.

INSTITUTO FALCÃO BAUER DE QUALIDADE. *Falcão Bauer Ecolabel Brasil*. 2015. Disponível em: http://www.falcaobauerecolabel.com.br/pt_br/. Acesso em: 16 Jan. 2018.

JESWANI, H. *et al.* Options for broadening and deepening the LCA approaches. *Journal of Cleaner Production*, Oxford v. 18, n. 2, p. 120-127, Jan. 2010.

JOHN, Vanderley Moacyr *et al.* Durabilidade e Sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. *In: Workshop sobre durabilidade das construções.* São José dos Campos, 2016.

LEMOS, H.; BARROS, R. L. *Ciclo de vida dos produtos, certificação e rotulagem ambiental nas PMEs.* Rio de Janeiro: PNUMA, 2006.

PINHEIRO, M. D. *Ambiente e construção sustentável.* Amadora: Instituto do Ambiente, 2006.

RIBEIRO, Celso Munhoz; GIANNETTI, Biagio F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Avaliação do ciclo de vida (ACV): uma ferramenta importante da ecologia industrial. *Revista de Graduação da Engenharia Química,* São Paulo v. 11, p. 13-23, 2003

SALING, P.; KICHERER, A. Eco-efficiency analysis by BASF: the method. *The international journal of life cycle assessment,* Alemanha v. 7, n. 4, p. 203-218, 2002

SALGADO, V. G. *Proposta de Indicadores de ecoeficiência para o transporte de gás natural.* Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. *Eco-efficient construction and building materials.* Alemanha, Springer Science & Business Media, 2011.

TRINDADE, P. Capítulo 1, *In: Manual Prático para a Gestão Ambiental.* 2009. Disponível em: <http://repositorio.Ineg.pt> Acesso em: 3 set. 2017.

WCED, U. Our common future. *World Commission on Environment and Development Oxford University Press,* v. 17, p.1-91, 1987.

CAPÍTULO 2

OBRAS DE INFRAESTRUTURAS INTELIGENTES

BELAYNE MARCHI; JOSÉ ALBERTO CASTAÑÓN²
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, muito vem se debatendo sobre o futuro dos veículos automotores e, atualmente, o enfoque é adequar e adaptar seu desenvolvimento às “soluções verdes”. Porém, no país, percebe-se que há pouca discussão em prol do assunto, o que acaba resultando em vários pontos negativos para o meio ambiente, como por exemplo, poluição, alto índice de acidentes, alto custo de manutenção e uma infraestrutura por vezes, ineficaz. Considerando essas questões, fica evidente que cada vez mais é necessário e urgente a implementação e fortalecimento de soluções e tecnologias que visem assegurar um sistema de transporte mais eficaz. Ademais, as rodovias devem seguir no mesmo ritmo as mudanças e as inovações tecnológicas dos veículos do futuro. Sendo assim, no setor rodoviário, pressupõe-se e se espera que as rodovias “inteligentes” contribuam de maneira mais incisiva para o desenvolvimento sustentável.

O termo “cidades inteligentes” tem sido cada vez mais, relacionado ao emprego eficiente de Tecnologias de Informação e de Comunicação, como uma ferramenta para melhorar a infraestrutura e os serviços da cidade e, conseqüentemente, proporcionar melhor qualidade de vida. Nesse contexto, as *smart highway* terão também papéis fundamentais na melhoria e modernização dos sistemas urbanos, e poderão possibilitar à população uma mobilidade mais adequada.

Nesse contexto, as inovações tecnológicas presente nas rodovias do futuro também trazem materiais inteligentes e, em função desses materiais, é possível traçar um melhor estudo da estrutura, assim como a capacidade de adaptação nas mais diversas aplicações nas quais estarão inseridas as *smart highway*. Assim, um material pode ser considerado inteligente, se atender e se adaptar à finalidade na qual foi inserido, o que conseqüentemente permitirá maior conforto, segurança, estabilidade aos usuários nas estradas.

Em resumo, esse capítulo apresentará de forma sucinta os materiais utilizados nas novas rodovias, as ditas “rodovias inteligentes”, com o intuito de atender aos padrões sustentáveis,

² E-mail: belayne@hotmai.com; jose.alberto@uff.edu.br

bem como e compará-los a materiais convencionais, a fim de avaliar as tecnologias inovadoras incorporadas nos Sistemas Inteligentes.

Após a categorização dos sistemas inteligentes de rodovias que consistirá de uma introdução aos principais grupos de tecnologias e seus envoltimentos em relação às vias e aos usuários, serão listados seus benefícios e suas aplicações de uma maneira geral.

RODOVIA FOTOVOLTAICA

As rodovias solares são constituídas por painéis solares, também conhecidos como células fotovoltaicas, desenvolvidos com o intuito de gerar energia através da captação da luz do sol. O sistema é constituído por um conjunto de painéis individuais de células fotovoltaicas que usam semicondutores para absorver a luz e criar um fluxo de elétrons, que ao se movimentar, geram corrente elétrica.

É um sistema que produz energia renovável limpa e que, por essa razão, está sendo altamente difundido. Suas aplicações vêm crescendo e se apresentando como solução sustentável em rodovias, ou seja, conta com uma infraestrutura moderna aliada a energia inteligente. As rodovias solares são compostas por painéis com três camadas, a superior constituída de vidro texturizado de alta resistência, a intermediária usada para coletar energia e, por último, a placa que distribui toda captação de luz solar armazenada.

As rodovias solares, além da função de gerar energia, contam também com luzes de LED, que servem como sinais de segurança emitidos para alertar os condutores sobre possíveis acidentes nas rodovias, congestionamentos, neblina, dentre outras ocorrências. Além disso, as células fotovoltaicas também podem transportar cabos de fibra óptica para televisão, comunicação e internet de alta velocidade, o que permite que áreas rurais estejam conectadas, contribuindo, inclusive, para uma despoluição visual envolvendo um emaranhado de fios ao longo da rodovia. Com o advento dos carros elétricos outra vantagem seria a criação de estações de carregamento em pontos estratégicos.

Muitos são os aspectos positivos dos painéis solares mas, apesar disso, alguns questionamentos sobre sua viabilidade devem ser problematizados, como, por exemplo, a agressividade do ambiente o qual o painel está inserido; a segurança para o usuário decorrente, por exemplo, do derramamento de óleo na pista ou de acidente de trânsito que ocasione algum dano à estrutura, danificando painel(is) solar(es), o fato de que os painéis solares sobre as estradas não podem coletar energia da mesma forma que se estivessem posicionados formando ângulo, como ocorre em outras ocasiões, como no telhado de uma casa por exemplo.

Além disso, empresas fabricantes de painel solar destacam, a necessidade de instalação de um tipo de vidro auto limpante para manter a superfície livre de sujeira e de óleo. Outra questão a se preocupar é quanto aos dias nublados, ou quando os painéis estão instalados em regiões onde não

há tanta incidência de luz solar. São questionamentos importantes, pois mesmo em dias ensolarados, a tecnologia atual de energia solar é muito ineficiente, a maioria dos painéis solares converte cerca 14% da energia disponível em eletricidade. A Tabela 1 apresenta resumidamente as características desse tipo de tecnologia passível de ser empregada em rodovias.

Com a mudança de mentalidade acerca da valorização da saúde e do bem-estar, o excesso de barulho e de ruídos nas rodovias vem gerando certo desconforto. A poluição sonora é considerada hoje um dos agentes mais agressivos à qualidade de vida dos seres humanos, sendo o impacto ambiental em relação ao qual resultam mais queixas por parte da população. É um aspecto preocupante e um tema para se discutir, pois pode ser responsável por graves consequências na saúde e nas relações sociais das comunidades afetadas, se não for devidamente controlado.

Tabela 1 – Análise comparativa das rodovias fotovoltaicas.

Itens Comparativos	Placas Fotovoltaicas	Pavimento Fotovoltaico
Materiais utilizados	Compostos por células solares, constituídas por materiais semicondutores, normalmente o silício e o arsenieto de gálio	Conjunto de painéis individuais de células fotovoltaicas, com três camadas, sendo a superior composta por vidro texturizado de alta resistência
Vida útil (com manutenção)	25 a 30 anos	30 anos
Estrutura	Encapsuladas com vidro resistente, reforçado com camadas de plástico. Posteriormente, todo o conjunto é reforçado pela formação de um quadro externo com alumínio metálico.	Três camadas, fabricados com um material de alta resistência (vidro temperado) para suportar o peso dos veículos que trafegam o dia todo
Distribuição de tensões	-	Placa absorve a maior parte das tensões e as distribui sobre uma área relativamente maior

Fonte: elaborada pela autora

A fim de solucionar um pouco este problema, a aplicação de painéis fotovoltaicos ao longo das vias de comunicação funciona como barreira de proteção contra o ruído, outra tendência inovadora que tem sido cada vez mais discutida e estudada. A utilização de painéis fotovoltaicos traduz-se normalmente em barreiras sonoras do tipo refletoras. No entanto, é possível a aplicação de algum tipo de fibra com capacidade de absorção acústica em simultâneo com o painel, conferindo à barreira capacidades de absorção.

Em barreiras sonoras já existentes, há também a possibilidade de aplicação de painéis fotovoltaicos, nos quais serviriam como suporte para aplicação sonora ou poderiam ser integrado em projetos de novas barreiras. Neste último caso, poderá proceder-se à pré-fabricação dos painéis

e subestruturas, traduzindo-se em grandes ganhos econômicos. Sua aplicação pode ser feita diretamente no terreno, formando a totalidade da barreira, ou sobre muros de concreto armado, que neste caso é geralmente o mais utilizado por permitir a proteção dos painéis dos agressores viários, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1 – Painel fotovoltaico em barreira sonora.

Fonte: adaptado de <ufficiostampa.provincia.tn.it>

Os painéis fotovoltaicos são posicionados de maneira a potencializar ao máximo a exposição solar a que estarão sujeitos. No entanto, quando aplicados à barreiras sonoras, terão que percorrer as curvaturas seguidas pela via em questão, o que pode implicar no não correto aproveitamento dos painéis, deixando de ser interessante a sua utilização. Desse modo, existe a real preocupação de instalar barreiras acústicas que utilizem estes painéis, apenas nos trechos da via perpendiculares à linha da direção de exposição solar máxima, ou com pequenos desvios da mesma.

Por fim, destaca-se que os painéis fotovoltaicos são normalmente mais caros que qualquer outro tipo de painel utilizado em barreiras sonoras. Apesar dos ganhos inerentes à produção de energia elétrica, poderão também significar elevados custos de manutenção, o que poderia tornar sua utilização questionável quanto ao seu custo-benefício.

ENERGIA EÓLICA

Energia eólica é a transformação da energia do vento em energia útil, tal como na utilização de aerogeradores para produzir eletricidade. No mesmo seguimento das tecnologias limpas, aquelas que não queimam combustível fóssil para gerar energia, a energia eólica insere-se na *smart highway*.

O sistema consiste em gerar energia aproveitando o deslocamento do ar provocado pela passagem dos veículos na estrada. Uma das alternativas para geração de energia eólica nas rodovias é um projeto de um estudante americano que propôs o seguinte modelo: a instalação é feita colocando duas turbinas eólicas horizontalmente nas armações de aço onde geralmente está instalada a sinalização ao longo da rodovia, vide Figura 2. Os geradores eólicos seriam movidos pelo vento produzido pela turbulência dos carros ao se deslocarem ao longo da rodovia, armazenando energia, que poderá ser utilizada na própria estrada, ou auxiliar comunidades em seu entorno.



Figura 2 – Instalação de turbinas ao longo de rodovias.

Fonte: adaptado de <tecnocarreteras.es>

Outra inovação no mesmo segmento, o poste de iluminação híbrido é 100% alimentado por energias eólica e solar. Os modelos são feitos em aço, de 12 a 18 metros de altura, com a presença de uma hélice no topo do poste (vide Figura 3). Eles possuem duas fontes de energia que são alimentadas ao mesmo tempo, duas placas acopladas com células solares que recebem raios ultravioletas e infravermelhos, gerando energia elétrica, que posteriormente será armazenada em uma bateria afixada à peça. Com o mesmo intuito, as hélices no topo funcionam como geradores de energia eólica através do deslocamento do vento. Cada poste pode abastecer outros três ao mesmo tempo, e com os dois sistemas funcionando paralelamente, sua autonomia chega até 70 horas, o que significa que uma vez abastecido, mesmo na ausência de vento e sol, ele é capaz de manter as lâmpadas acesas.

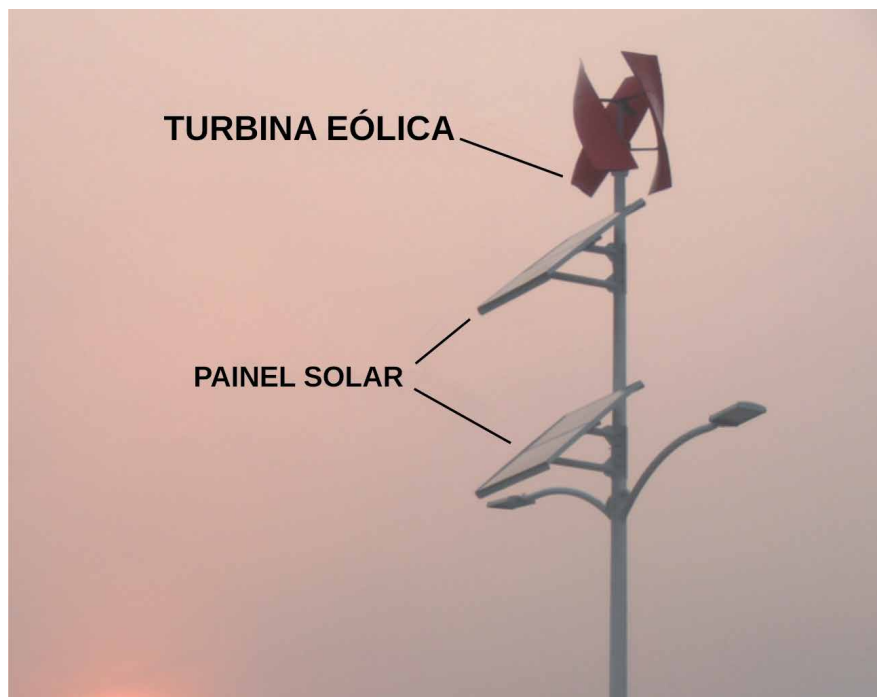


Figura 3 – Poste de iluminação híbrido.

Fonte: adaptado de <<http://www.inhabitat.com>>

PAVIMENTO PERMEÁVEL

É muito comum que em áreas urbanas excessivamente sobrecarregadas o espaço ocupado pelas camadas de revestimento do sistema viário e estacionamentos sejam gigantes, o que diminui bastante o escoamento superficial, gerando problemas de inundações urbanas. Os pavimentos permeáveis ou drenantes vêm como auxílio nesse escoamento, pois favorecem a disposição e a preservação da água da chuva. É um concreto feito com uma mistura de elevado índice de vazios, que o torna permeável à ação das águas de chuva e, conseqüentemente, reduz a espessura da lâmina d'água sobre a superfície. Originalmente desenvolvidos para resolver aspectos relativos à segurança, os revestimentos asfálticos drenantes apresentaram uma boa capacidade de redução dos ruídos provenientes do tráfego de veículos, reduzindo o impacto ambiental na vizinhança das rodovias e das vias urbanas (vide Figura 4).

Os pavimentos permeáveis podem ser constituídos de asfalto ou de concreto, e em ambos não existe o agregado fino. O asfalto possui agregados com 40% de vazios e o concreto com 17%. As estruturas de concreto podem conter pedras britadas ou grama adensada, vide Figura 5.

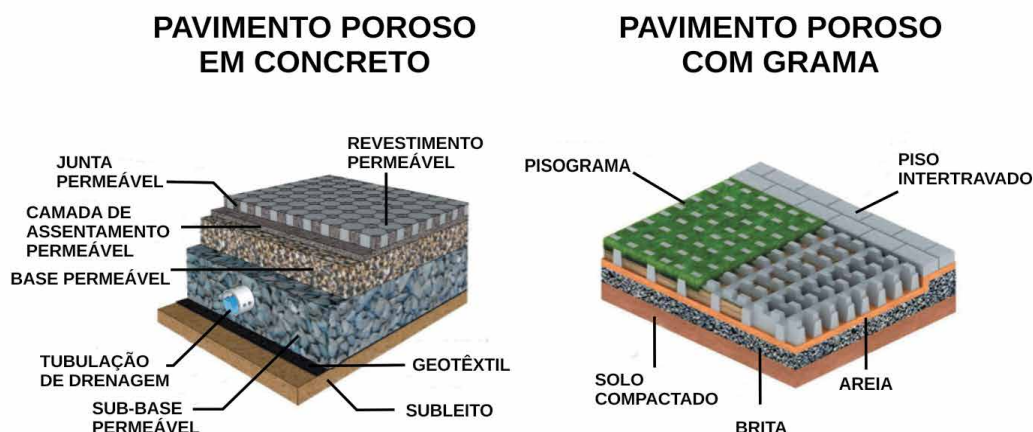


Figura 4 – Esquema de pavimento permeável.

Fonte: elaborado pelo autor



Figura 5 – Pavimento permeável.

Fonte: adaptado de <<http://www.aecweb.com.br>>

O sistema de pavimento permeável é útil por diferentes razões. O piso drenante é composto de grandes materiais de concreto, de pedra ou de materiais altamente resistentes, equipados com um sistema de filtração que permite a formação de uma espécie de grade, favorecendo a filtração da água da chuva. O grau de permeabilidade destes sistemas está intimamente relacionado a várias variáveis: o sistema de colocação do solo, a camada superior do piso, o estado subjacente do piso, que permitem a filtragem da água no solo, favorecendo sua dispersão.

Os pavimentos de blocos de concreto são muito eficazes na remoção de poluição do escoamento (podem remover entre 60% e 95% dos sólidos suspensos totais e de 70% e 90% de hidrocarbonetos). Os poluentes podem permanecer na superfície (particularmente com gradientes zero) ou podem ser depositados nas camadas de pavimento subjacentes, onde muitos dos poluentes são filtrados, presos ou degradados ao longo do tempo. Outras qualidades a seu favor são o preço, é barato para comprar, e a segurança, pois possui partes com o sistema antiderrapante.

Cabe mencionar que os pavimentos drenantes quando inadequadamente instalados ou quando ocorre deficiência nos serviços de manutenção, terão sua vida útil comprometida. Além disso, um aspecto importante chama atenção: por serem porosos, eles carregam não somente água, havendo risco de contaminação dos aquíferos se houver algum derramamento químico na pista causado por acidente: devem, portanto ser instalados longe de barragens de abastecimento de água. A Tabela 2 apresenta uma análise comparativa entre os pavimentos rígidos e os permeáveis.

Tabela 2 – Análise comparativa entre os pavimentos rígidos e os permeáveis.

Itens Comparativos	Pavimentos Rígidos	Pavimentos Drenantes
Materiais utilizados	O concreto é feito de materiais locais, misturado a frio, consumindo, geralmente, energia elétrica	A camada superior é composta de forma similar às convencionais, mas com retirada de fração de areia fina (gradação aberta) da mistura dos agregados do pavimento.
Vida útil (com manutenção)	25 a 30 anos	20 anos
Estrutura	Menos camadas, conseqüentemente menor espessura	Com mais camadas e uma mistura com um elevado índice de vazios
Reação com produtos químicos	Pouco suscetíveis a reações químicas e à contaminação	Pouco suscetíveis a reações químicas, mas pode contaminar o solo.
Drenagem	Melhores características de drenagem superficial: escoamento melhor a água superficial	Pavimento permeável, não permite acumular poças, reduzindo as inundações e a erosão

Fonte: elaborada pela autora

PAVIMENTO DE BLOCO DE CONCRETO FOTOCATALÍTICO

A crescente urbanização no mundo vem ocorrendo de forma extremamente rápida e desordenada nas metrópoles, o que se torna uma fonte que alimenta cada vez mais problemas ambientais produzindo diversas conseqüências sobre todos os aspectos do meio ambiente natural (fauna, flora, clima e hidrologia), mas, principalmente contribuindo muito para poluição do ar.

É, portanto, um motivo de preocupação por especialistas e conseqüentemente origina uma série de programas e regulamentos a serem implementados para tentar minimizar a poluição atmosférica. Dentre as substâncias causadoras dessa poluição, destacam-se como resultado

da combustão em veículos, os óxidos de nitrogênio (NO_x). Durante o processo de combustão, temperaturas altas ativam a reação entre o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2) provenientes do ambiente, formando monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2). O aumento da emissão de gases como os óxidos de nitrogênio (NO_x) pode causar chuva ácida, ozônio ao nível do solo (troposférico), além de contribuir para o aquecimento global. Além disso, o NO_x na atmosfera causa grande preocupação, pois a exposição em longo prazo pode causar agravos à saúde humana.

Estudos vêm utilizando a nanotecnologia na produção de materiais como uma estratégia para minimizar o efeito da poluição oriunda dos veículos automotores, com a incorporação de novas propriedades que aumentam o seu desempenho, a sua funcionalidade e a sua durabilidade.

Processos oxidativos avançados constituem o sistema, formado pela fotocatalise heterogênea, que utiliza semicondutores como o dióxido de titânio (TiO_2). Sua incorporação em combinação com o cimento Portland gera materiais com propriedades fotocatalíticas, ou seja, uma matriz de cimento capaz de capturar e degradar poluentes atmosféricos como os óxidos de nitrogênio (NO_x). Em rodovias, a tecnologia propicia menos dano por umidade e por envelhecimento, um aumento no desempenho do revestimento, propiciando materiais mais resistentes à deformação permanente, ao desgaste e à variação térmica.

O processo se dá basicamente por fotodegradação de poluentes atmosféricos, baseado nas propriedades do semicondutor TiO_2 . Quando a camada superior do pavimento fotocatalítico está sobre incidência da radiação solar UV, radicais hidroxila são produzidos, que por sua vez degradam os óxidos de nitrogênio (NO_x) por reações químicas de oxirredução, conforme ilustrado na Figura 6. Os íons de nitrato (NO_3) decorrentes da reação, fixam-se na superfície do pavimento em forma de sal e são posteriormente removidos e reaproveitados pelas plantas como nutrientes através do carreamento feito pela água da chuva.

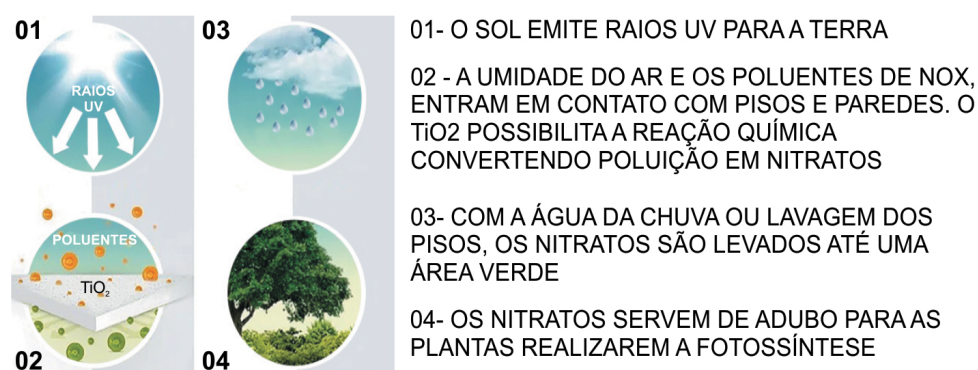


Figura 6 – Pavimento de concreto com incorporação de semicondutores.

Fonte: adaptado de <<http://ciclovivo.com.br>>.

Foram realizados ensaios em laboratórios em 2013 com os revestimentos fotocatalíticos, cujos resultados obtidos mostraram que se pode ter uma taxa de conversão do poluente (NO_x) de até 95 %, dependendo do tipo e da porcentagem de dióxido de titânio incorporado.

Portanto, fica claro que o pavimento rígido de dupla camada fotocatalítico pode contribuir com a minimização dos poluentes atmosféricos emitidos pelas fontes móveis de poluição, sendo considerado, por esse motivo, uma relevante tecnologia. Em teoria, a eficiência do revestimento não teria fim uma vez que não há consumo do TiO_2 no processo, pois o composto químico atua como catalisador nas reações de degradação. O único contraponto, porém, é o desgaste natural da superfície, junto com a impregnação de borracha de pneu e de óleos, e a limpeza pouco eficaz, fatores que reduzem a eficiência fotocatalítica, e, por isso, merecem atenção especial.

Atualmente, a incorporação de dióxido de titânio em pavimentos, é um dos métodos mais estudados para o combate da poluição do ar em grandes cidades (Omiã, Bruxelas, Paris, Bérgamo, Hong Kong). Além de fazer parte do plano de revitalização da ponte Sarajevo, que passa por cima da avenida Meridiana, próximo a Barcelona, Espanha. No Brasil, apesar de a malha rodoviária brasileira, de forma geral, ser formada em sua maioria por pavimentos com revestimento asfáltico, houve a primeira iniciativa de implantação do sistema com material fotocatalítico em uma obra pública, na rua Sete de Abril, em São Paulo.

Os pavimentos rígidos, com placas de concreto de cimento Portland, possuem uma representatividade muito inferior. A Tabela 3 apresenta uma análise comparativa do pavimento rígido tradicional e do fotocatalítico:

Tabela 3 – Análise comparativa entre o pavimento rígido tradicional e o fotocatalítico.

Itens Comparativos	Pavimentos Rígidos	Pavimento Fotocatalítico
Materiais utilizados	O concreto é feito de materiais locais, misturado a frio, consumindo, geralmente, energia elétrica	Incorporação de dióxido de titânio (TiO_2) em combinação com o cimento Portland
Vida útil (com manutenção)	25 a 30 anos	30 anos
Estrutura	Menos camadas, conseqüentemente, menor espessura	As mesmas do pavimento rígido, com acréscimo de uma camada incorporada com TiO_2 , com espessura média de 3 a 10mm
Distribuição de Tensões	Placa absorve a maior parte das tensões e as distribui	As mesmas do pavimento rígido
Reação com produtos químicos	Pouco suscetíveis a reações químicas e à contaminação	Baseado no processo de catálise induzida por uma reação fotoquímica, eliminando parte da poluição de óxidos de nitrogênio.
Drenagem	Melhores características de drenagem superficial: escoamento melhor a água superficial	Pavimento permeável; atua como catalisador nas reações de degradação e melhoramento do escoamento da água superficial.

Fonte: elaborada pela autora

CONCLUSÃO

Cada vez mais estão surgindo novas tecnologias importantes e necessárias, principalmente, num ambiente totalmente precário como o sistema de transporte rodoviário. Diariamente, milhares de veículos se deslocam com objetivos múltiplos, seja para transporte de pessoas ou de cargas, e o principal desafio que o setor rodoviário enfrenta passa por encontrar o equilíbrio entre conciliar os veículos cada vez mais modernos que surgem dia a dia com as rodovias nem tão tecnológicas assim. Desta forma, a busca de novos materiais demonstra a importância e a real necessidade de interligação da indústria de pavimentação, em termos de efeitos reais e potenciais, com o desenvolvimento sustentável. Além disso, a utilização de materiais mais duráveis significa uma vida útil maior e um menor consumo de recursos.

Em termos gerais, o país necessita consolidar mudanças nas trajetórias ambiental, social e econômica no sentido da sustentabilidade, incentivando as empresas a desenvolver produtos que sejam mais sustentáveis não só durante sua vida útil, mas também após o seu término, reciclando e renovando os materiais desenvolvidos.

Para que as obras de infraestrutura inteligente seja uma realidade sustentável, é necessário maior conscientização, principalmente, da comunidade científica, que tem um importante papel na disseminação de novos materiais que possam contribuir para as rodovias inteligentes. Além disso, políticas de incentivo criadas com o intuito de orientar os fabricantes a considerarem a Análise do Ciclo de Vida como base de seus desenvolvimentos, não comprometendo a geração futura. É preciso, sim, investir em novos materiais, mas observando as qualidades ambientais incorporadas ao produto de modo que considere o desempenho ambiental, social e econômico na totalidade de seu ciclo de vida.

REFERÊNCIAS

AZONANO. Energy Producing Roads Made From Solar Cells and Glass May Be The Solution To Carbon Emissions and Climate Change. *AZoNano*, p. 1–3, 2007.

CARLSSON, Bo *et al.* Qualification test procedure for solar absorber surface durability. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 61, n. 3, p. 255-275, 2004.

CARNEIRO, J. A. O. *et al.* Utilização de nanopartículas de TiO₂ para o desenvolvimento de pavimentos rodoviários com capacidade fotocatalítica. *In: 7º Congresso Rodoviário Português*, 2013. p. 1–10.

CHAPA, J. Student Design Turns Highways Into Wind Farms. *Inhabitat*, 2007.

MOURA, Francisco José. Síntese e caracterização de ligas Fe-Ni nanoestruturadas. 2008. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

CRAVO, Leandro. da Silva. *Geração de Energia nos Pavimentos Rodoviários*. 2014 Dissertação de mestrado - Universidade de Coimbra, 2014.

DE JONG, B. C. P. M. Wind Turbines along highways: Feasibility study of the implementation of small scale wind turbines along the Prins Bernardweg Zaandam to Bolswarderbaan highway in the Netherlands. n. 1, p. 1–100. jun 2015.

DELATTE, N. *Concrete pavement design, construction, and performance*. 2. ed. London: Taylor & Francis, 2014.

FREEDMAN, B. *The Ecological Effects of Pollution, Disturbance and Other Stresses. Environmental Ecology*. San Diego:Academic Press Inc., 1995.

GAMA, K. *et al.* Em Direção a um Modelo de Maturidade Tecnológica para Cidades Inteligentes. *In:VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação. Anais...* 2015

GEORGE, P. How Solar Panel Highways Work. HowStuffWorks. 2009.

JOHN, V. M. *et al.* Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a construção Civil Brasileira.*In: Workshop Sobre Durabilidade Das Construções. Anais...* 2014

LEITE, A. B. *et al.* Processo de Absorção de Gases na Minimização da Poluição Atmosférica. Departamento de Engenharia Química da Universidade Regional de Blumenau - FURB, 2008.

MELO, J. V. S. DE *et al.* Pavimento de blocos de concreto fotocatalítico.São Paulo, Ed. 172, *Téchne*, jun 2011.

MELO *et al.* Pavimento Rígido de Dupla Camada Com Propriedade Fotocatalítica Para Purificação do Ar.*In: 7º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, 2011, Foz do iguaçu.*

OLIVEIRA, C. G. M. Estudo de propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto asfáltico drenante. Brasília, 2003, p. 104.

RIBEIRO, N. M. P. *Barreiras sonoras em alta*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

SANTOS, C. R. *Dimensionamento E Análise Do Ciclo De Vida De Pavimentos Rodoviários: uma Abordagem Probabilística*. [S.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

SANTOS, Marisa Raquel Pinto *et al.* Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção. p. 149, 2010.

OFFICIO STAMPA. Painel fotovoltaico em barreira sonora. 2014. Disponível em ufficiostampa.provincia.tn.it. Acesso em: 16 jan. 2018.

TECNO CARRETAS. Instalação de turbinas ao longo de rodovias.2018. Disponível em tecnocarreteras.es. Acesso em: 16 jan. 2018.

INHABITAT. Poste de iluminação híbrido.2015. Disponível em inhabitat.com. Acesso em: 16 jan. 2018.

AECWEB. Pavimento permeável. 2016. Disponível em <http://www.aecweb.com.br> Acesso em: 16 jan. 2018.

CICLO VIVO. Pavimento de concreto com incorporação de semicondutores.2017. Disponível em <http://ciclovivo.com.br>. Acesso em: 16 jan. 2018.

CAPÍTULO 3

PAISAGEM SONORA

E AMBIENTE CONSTRUÍDO

GUILHERME VALLE LOURES BRANDÃO; WILIAN DANIEL
HENRIQUES DO AMARAL; JOSÉ ALBERTO CASTAÑON³
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

INTRODUÇÃO

O estudo da paisagem sonora a partir da perspectiva dos humanos requer uma abordagem comportamental que possibilite a síntese entre os estímulos visuais e sonoros. A associação entre ambiente acústico e características físicas dos ambientes é importante para o bem-estar do indivíduo, inserido em uma sociedade com crescente nível de ruído antropogênico, em sua busca por áreas calmas e restaurativas (FARINA, 2014).

Ainda para Farina (2014), a percepção do contexto acústico em que se está inserido depende de relações e de habilidades específicas que são originadas tanto em fatores genéticos como culturais, ou seja, a interpretação de estímulos sonoros requer capacidades específicas de cada agente (humanos e outros animais) que são desenvolvidas devido ao contexto sociocultural.

A qualidade do ambiente acústico interfere na capacidade de percepção dos fenômenos sonoros pelos indivíduos e altera essencialmente a relação entre os sons percebidos e sua identificação e interpretação sociais e culturais. Estes conceitos e a relação entre eles serão apresentados a seguir, de forma introdutória, propiciando ao leitor uma compreensão – embora inicial – sobre o assunto e suas diversas nuances.

CONCEITOS BÁSICOS

O som pode ser definido como qualquer variação de pressão que possa ser captada pelo sistema auditivo, que se propaga por ondas através do meio físico. Essa propagação, gradualmente, espalha-se pelas partículas a partir da fonte sonora e, dependendo do meio utilizado para propagação –gasoso, líquido ou sólido– ocorre em diferentes velocidades. No ar, o som se propaga a uma velocidade

³ E-mail: guilherme.loures@engenharia.ufjf.br; wilian.amaral@engenharia.ufjf.br; jose.alberto@ufjf.edu.br

aproximada de 340m/s, enquanto em meios líquidos e sólidos esta velocidade de propagação pode ser bem maior – 1500 m/s na água e 5000m/s no aço, por exemplo. (ANSELMET: MATTEI, 2006).

Comparada à pressão estática do ar, na ordem de 10^5 Pa, a variação de pressão sonora audível pelo ouvido humano é relativamente pequena, da ordem de $20\mu\text{Pa}$ ($20 * 10^{-6}$ Pa) até 100Pa. $20 \mu\text{Pa}$ correspondem à pressão sonora mínima que o ouvido do ser humano médio é capaz de captar, sendo denominada limiar de audição, enquanto 100Pa correspondem à pressão sonora máxima, causando extremo desconforto, denominada limiar da dor (BUCUR, 2006).

A razão entre a pressão sonora audível mínima e máxima é de mais de 1 para 1 milhão, o que, na aplicação direta dessa escala linear, leva a valores excessivamente grandes para serem trabalhados. Como o sistema auditivo não responde aos estímulos sonoros em escala linear, mas, sim, em escala logarítmica, torna-se mais prática a representação numérica da pressão sonora através de uma razão logarítmica entre a medida realizada e um valor de referência. Esta escala logarítmica representa o nível de pressão sonora e é denominada decibel ou dB, convertendo a escala linear e seus valores em uma escala logarítmica na qual o limiar de audição ($20\mu\text{Pa}$) corresponde a 0dB e o limiar da dor (100Pa) corresponde a aproximadamente 130dB. (TEMPLETON *et al.*, 1997).

Em termos de nível de pressão sonora, o espectro audível do som varia entre o limiar de audição, em 0 dB, e o limiar de dor, em 130 dB ou mais. Como tratamos de operações logarítmicas, embora um aumento de 6 dB represente o dobro de pressão sonora, é necessário um acréscimo de 8-10dB para que o indivíduo subjetivamente perceba aumento considerável no som escutado. De forma similar, a menor variação perceptível pelo ouvido humano gira em torno de 1 dB. (BUCUR, 2006).

O número de variações de pressão que ocorre em 1 segundo é denominado frequência do som e medido em hertz (Hz). O ouvido médio humano detecta sons compreendidos no intervalo de 20 Hz – sons graves, de grande comprimento de onda – a 20.000Hz sons agudos, de reduzido comprimento de onda. O comprimento de onda determina a dimensão da onda, influenciando na facilidade ou na dificuldade de contenção do som em espaços abertos e determinando as características geométricas e de materiais necessárias para seu tratamento em recintos fechados (MAEKAWA *et al.*, 2011)

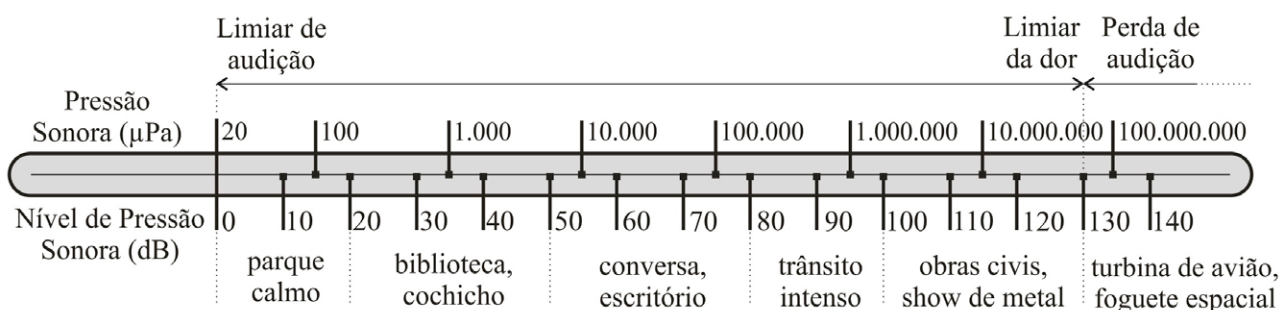


Figura 1 – Escala linear e escala logarítmica.

Fonte: elaborada pelos autores.

AMBIENTE ACÚSTICO

Os sons estão presentes em espaços interiores ou exteriores, em áreas urbanas ou rurais, quaisquer sejam as atividades em desenvolvimento. Nós ouvimos vozes, veículos, animais, máquinas e, algumas vezes, o som do nosso próprio sangue em circulação. Os sons estão sempre presentes, e nosso sistema auditivo está sempre em funcionamento, mesmo enquanto dormimos. Ao dividirmos um espaço com outras pessoas, seja interno ou externo, dividimos também um ambiente acústico (BROWN *et al.*, 2016).

O ambiente acústico, enquanto ambiente sonoro de base neutra, é composto pela energia sonora e pela informação a ser percebida, o que requer uma abordagem da capacidade cognitiva dos receptores em converter esta energia sonora em informação. Por conta disso, o ambiente sonoro pode ser descrito, em geral, por três níveis de complexidade crescente:

O primeiro nível é caracterizado pelas propriedades físicas do som, indo das frequências de infrassons a ultrassons. O segundo nível é o da capacidade fisiológica de percepção de cada espécie: por exemplo, neste nível a capacidade de percepção humana é restrita a frequências entre 20-20.000Hz, enquanto baleias podem ouvir infrassons entre 20 Hz e 0.001Hz e morcegos podem ouvir frequências ultrassônicas de até 210kHz. O terceiro nível consiste na interpretação dos sons de acordo com a decodificação genética ou a decodificação sociocultural dos sinais sonoros. Neste último nível [...] experiência pessoal e características do som são considerados simultaneamente. (FARINA, 2014, p. 108 – tradução nossa.)

O ambiente acústico de um lugar ou espaço é caracterizado pela totalidade dos diferentes sons percebidos diretamente ou através das modificações enquanto estes se propagam entre as fontes sonoras e os receptores. Estas modificações incluem reflexão e absorção do som pelos materiais e propriedades físicas do espaço (BROWN *et al.*, 2016).

Em áreas externas campestres ou de pouca ocupação, geralmente tem-se apenas uma superfície refletiva – o chão – com múltiplas reflexões no caminho percorrido pelo som entre a fonte e o receptor. Em áreas externas urbanas tem-se, adicionalmente, a reflexão do som por barreiras e edifícios e, em áreas urbanas densamente povoadas, o ambiente acústico externo será bem semelhante ao experienciado em espaços internos, com múltiplas reflexões sonoras. O ambiente acústico de espaços externos é moldado, principalmente, pela absorção do som pela atmosfera e pela refração do som entre fonte e receptor (BROWN *et al.*, 2016).

Em espaços internos o ambiente acústico é caracterizado pelas múltiplas reflexões do som, criando um espaço reverberante. Nestes locais, a inteligibilidade do som e mesmo o conforto para permanência do indivíduo dependerá das características geométricas do ambiente e dos materiais que revestem as superfícies internas. Assim como o uso define características morfológicas dos espaços arquitetônicos, também definirá as características sonoras adequadas e, por conseguinte, o tipo de material a ser utilizado de forma a produzir um ambiente acústico favorável. O ambiente

acústico de espaços internos é moldado principalmente pelas múltiplas reflexões do som nas superfícies e pela capacidade destas superfícies em atender os parâmetros acústicos desejados para cada uso (BROWN *et al.*, 2016).

O ambiente acústico de qualquer espaço – seja interno ou externo – depende então da combinação entre as fontes sonoras, a localização do receptor em relação às fontes, e as condições de propagação do som no caminho fonte-receptor. Cada uma destas características pode variar devido a condições como natureza da fonte, período do dia ou época do ano (SCHAFER, 1997).

Diversos autores buscaram caracterizar o ambiente acústico e a natureza das fontes sonoras (BROWN *et al.*, 2011 *apud* BROWN *et al.*, 2016; GAGE *et al.*, 2004 *apud* BROWN *et al.*, 2011; SCHAFER, 1997). Brown *et al.* (2016) realizaram a integração das categorias levantadas pelos estudos anteriores, possibilitando a criação de um modelo integrado que permite a avaliação holística das características do ambiente sonoro a partir de suas fontes, conforme pode ser visto na Figura 2.

PAISAGEM SONORA

A paisagem sonora pode ser definida como a construção da percepção individual sobre o ambiente acústico de um determinado espaço que contemple algumas características físicas e visuais resultantes do ambiente construído ou natural, no qual ocorram interações mútuas entre indivíduos ou entre o indivíduo e o ambiente. O indivíduo, ao desenvolver atividades nestes locais, recebe estímulos auditivos do ambiente acústico e os interpreta em sensações auditivas (BROWN *et al.*, 2016).

Essa paisagem se forma a partir de um contexto moldado pelos estímulos sensoriais e pelas informações acumuladas pelo indivíduo sobre o espaço como seu uso, propostas, significância cultural, motivações próprias e de terceiros, atividades associadas, etc. A paisagem sonora nasce a partir do ambiente acústico, mas seus conceitos não são iguais e, por isso, não pode ser medida apenas através dos equipamentos especializados como no caso do ambiente acústico (BOTTELDOOREN *et al.*, 2016).

Através da interpretação da paisagem sonora, o indivíduo consegue distinguir diversas características não visuais no qual está inserido, como por exemplo se está em uma área industrial, no centro de uma grande cidade ou em um parque recreativo. O conceito de paisagem sonora tende a ser mais aplicado em áreas abertas externas, entretanto pode ser também aplicado no estudo de espaços interiores, principalmente os públicos, sempre envolvido no senso de espacialidade dos indivíduos.

Na Figura 3 é possível observar a rede de relações e interpretações realizadas entre a recepção do estímulo auditivo e a construção da paisagem sonora pelo indivíduo a partir do ambiente acústico.

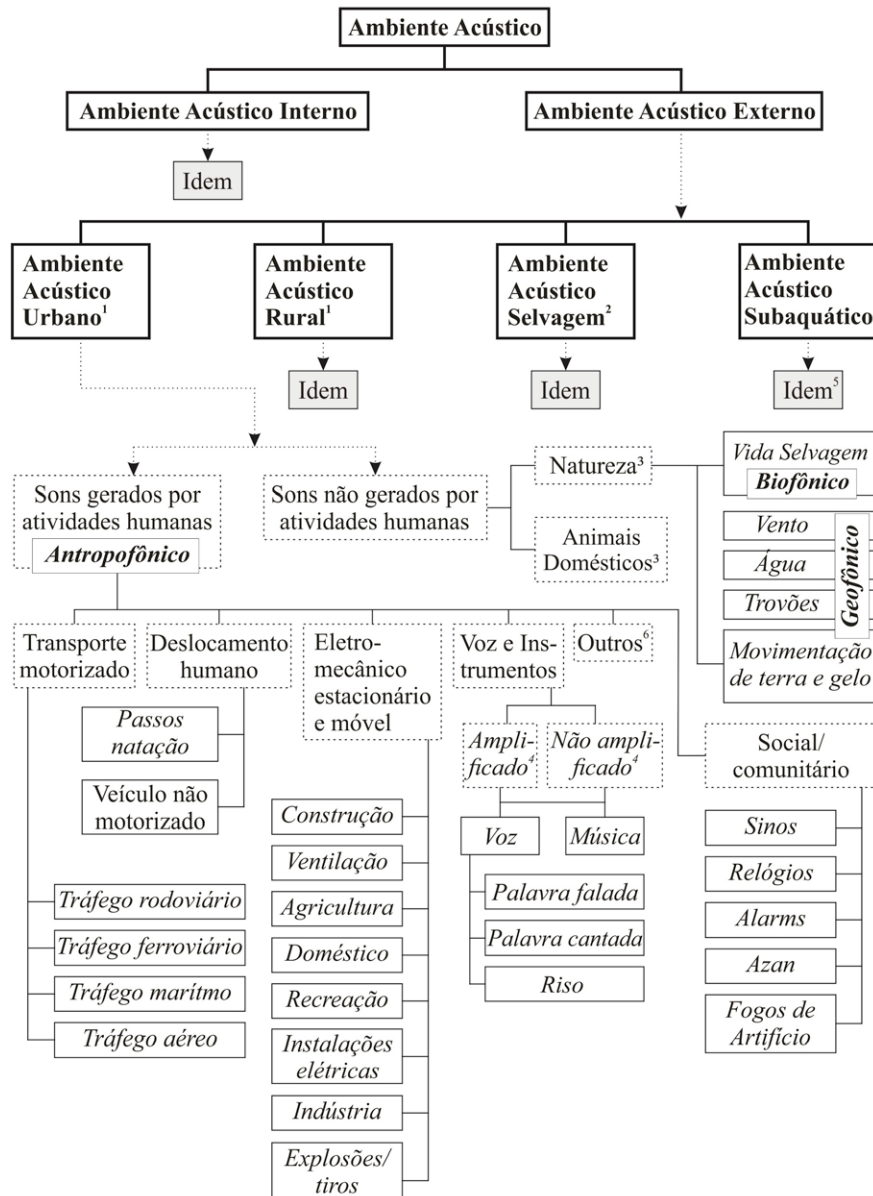


Figura 2 – Categorização de fontes sonoras.

Fonte: adaptada de Brown *et al.*, 2016.

¹ A divisão entre urbano e rural nem sempre será clara.

² A categoria “selvagem” inclui reservas de biosfera, áreas naturais não ocupadas, zonas costeiras, e parques recreativos de grandes dimensões. Da mesma forma, a divisão entre rural e selvagem nem sempre será clara.

³ Enquanto as fontes “natureza” e “animais domésticos” figuram como não geradas por fontes humanas, existem várias áreas de sobreposição – por exemplo, os sons de água corrente em parques aquáticos e fontes ou o som do vento em edifícios. Os sons gerados por animais domésticos geralmente estão associados a alguma atividade humana.

⁴ Gravação, execução e amplificação podem ocorrer com qualquer tipo de som.

⁵ Por conta das diferentes propriedades do ar e da água, muitos dos sons terrestres não são normalmente observados em meio aquático, mas, no geral, o mesmo sistema de classificação é aplicável.

⁶ Tossir, por exemplo.

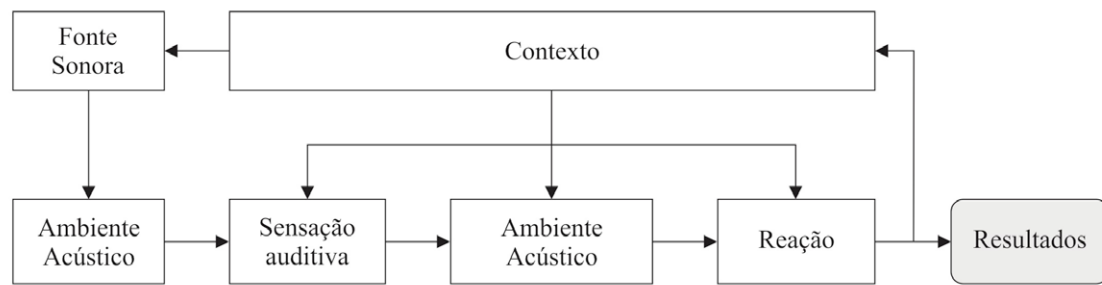


Figura 3 – Diagrama de construção da paisagem sonora.

Fonte: adaptada de Brown *et al.*, 2016.

As diversas “reações” individuais possíveis ao ambiente acústico podem ser caracterizadas, por exemplo, em sensações como prazer, conforto acústico, excitação ou medo. Já como exemplos de “resultados” podemos incluir a sensação de pertencimento, harmonia e, de restauração (geralmente associada a locais verdes, a natureza e a apreciação de elementos naturais através de seus sons característicos). Em diferentes espaços e contextos, as respostas individuais em relação ao ambiente acústico podem variar significativamente ou serem multidimensionais, levando em conta os fatores e as características almeçadas para o desenvolvimento de atividades distintas (BROWN *et al.*, 2016).

Os resultados exemplificados podem ser considerados como “resultados diretos” que dependem, em larga escala, do conhecimento do ambiente acústico pelos indivíduos e da atribuição consciente de resultados a partir da percepção direta da paisagem sonora. No entanto, o ambiente acústico de um local também possibilita reações e resultados sem que o indivíduo tenha consciência total de todas as características que tornam a área adequada ou agradável ao desenvolvimento de determinada atividade. Existem fatores que são processados de forma inconsciente e que possibilitam, em conjunto com os fatores conscientes, o reconhecimento de determinadas paisagens sonoras como apropriadas a determinada função (BOTTELDOOREN *et al.*, 2016).

O diagrama (Figura 3) sugere que o “contexto” – que inclui todos os fatores não acústicos do espaço, físicos ou psicológicos – tem proeminência sobre os demais fatores na percepção e na construção da paisagem sonora pelo indivíduo. Ocorre que o diagrama é simplificado e as relações de contexto serão relevantes em quatro variáveis do espaço: indivíduo, lugar, interação indivíduo-lugar, e atividade. Cada uma destas variáveis possui grande potencial de influência na experimentação individual do ambiente acústico.

Cada lugar tem seu próprio panorama e forma construída; estética; atributos físicos, sociais e culturais; que se modificam ao longo das horas do dia, das estações do ano ou do clima. Cada indivíduo traz consigo a construção social de ocupação do espaço, estilo de vida, cultura, redes comunitárias e preferências em termos de questões imediatas – como motivação para estar em um lugar ou desenvolver uma atividade – e em questões de longo prazo (BROWN *et al.*, 2016).

O indivíduo pode desenvolver atividades ativa ou passivamente, sozinho ou interagindo socialmente com outros indivíduos, o que gera diferentes necessidades e oportunidades. Ao modificar

um dos elementos do sistema, mesmo que os demais se mantenham constantes, a experiência ambiental do indivíduo será significativamente alterada para dado local em dado período temporal e, conseqüentemente, será alterada a percepção e a construção da paisagem sonora daquele local. A Figura 4 traz um modelo conceitual dos vários contextos relativos às variáveis citadas.

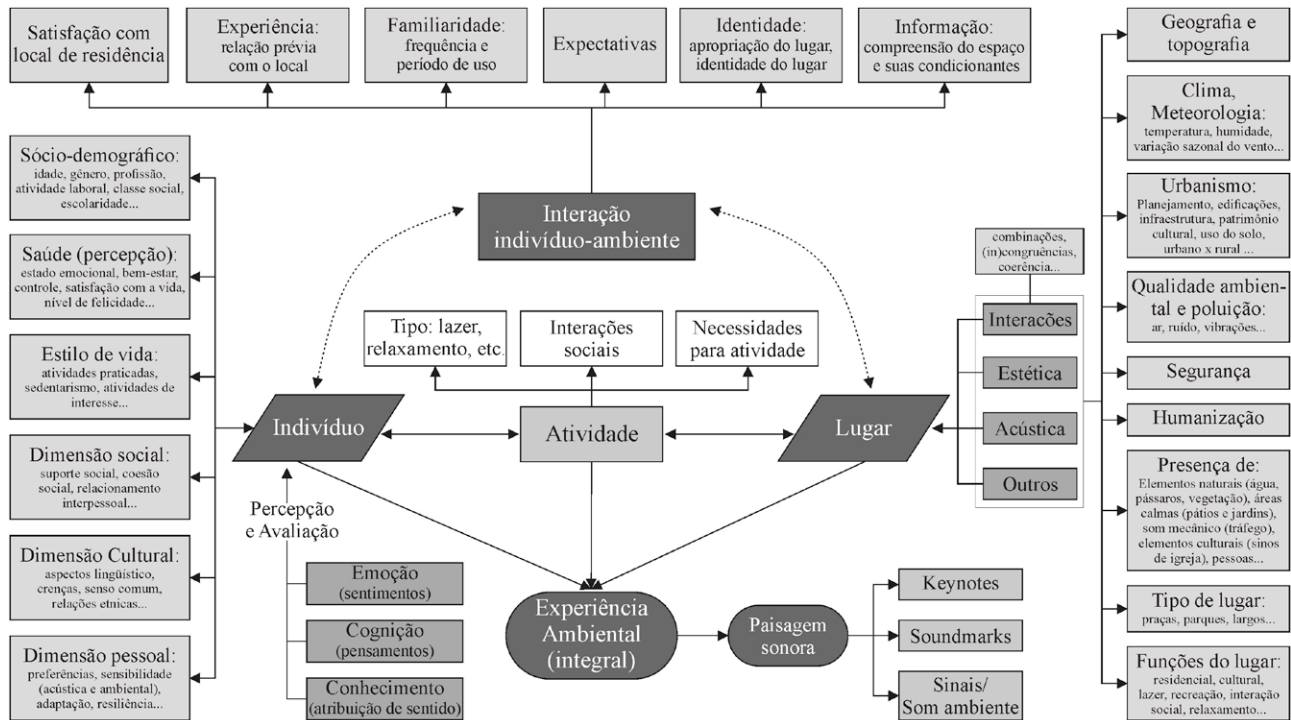


Figura 4 – Modelo conceitual de contextos.

Fonte: adaptada Brown *et al.*, 2016.

Estas informações nos mostram que o estudo da paisagem sonora precisa reconhecer o papel do contexto e levar em consideração a grande variabilidade nas preferências e resultados no caso de qualquer mudança, por mínima que seja. Essas variações são usuais e não se tratam de caprichos humanos: têm relação com a variação entre grupos e são desejáveis enquanto contornáveis, como forma de uso de um local por diferentes grupos simultaneamente, mantendo-se a vitalidade dos espaços.

AVALIANDO A PAISAGEM SONORA

Para procedermos a uma avaliação da paisagem sonora é necessário levar em conta tanto as características sonoras do ambiente como seus componentes físicos e visuais. Os estímulos bimodais mostram-se importantes na caracterização de espaços tranquilos e, de fato, Watts *et al.* (2009, *apud* FARINA, 2014) observaram que “o córtex medial pré-frontal recebe contribuições significativamente maiores do córtex auditivo em situações de condições visuais agradáveis comparadas a condições

visuais desagradáveis”. Isto demonstra que, quando a paisagem sonora é construída desta forma, a percepção auditiva é definitivamente modificada.

Quando trabalhamos com a medição de variáveis inerentes ao comportamento ou reação humanos, busca-se a mínima interferência em relação aos indivíduos inseridos no estudo e a observação é, principalmente, externa, podendo ser complementada com aparelhos que permitam o monitoramento de variáveis biológicas do grupo de estudos como nível de pressão sonora próximo ao ouvido e os batimentos cardíacos. A observação visa captar variáveis como efeitos predominantes, apreciação, senso de restauração e comportamento manifesto para avaliar a paisagem sonora de forma holística em determinado contexto (BOTTELDOOREN *et al.*, 2016).

No caso da paisagem sonora, o desafio da quantificação reside no fato de que esta se apresenta como um fenômeno de múltiplas variáveis e naturezas e, portanto, não pode ser medida a partir de um único valor ou aparelho, como o nível de pressão sonora aferido por decibélimetros, por exemplo. O comportamento manifesto associado ao ambiente acústico, é sugerido como uma forma de avaliação da paisagem sonora e está presente em diversos estudos da área (CAIN *et al.*, 2013 *apud* BOTTELDOOREN *et al.*, 2016; AXELSSÖN *et al.*, 2010, *apud* BOTTELDOOREN *et al.*, 2016).

Fatores psicológicos e informações visuais também são percebidos como importantes, uma vez que suas associações aos sons estão estritamente conectadas à percepção humana do ambiente que o cerca. Por exemplo, Watts *et al.* (*apud* FARINA, 2014) argumentam que a presença de vegetação em áreas ruidosas faz com que o ruído percebido pelo indivíduo seja menor em relação a áreas que não contam com vegetação, mesmo sabendo que sua contribuição efetiva como barreira acústica não é considerável. Isso demonstra que, embora os valores diretamente medidos em situações com e sem vegetação sejam absolutamente equivalentes, o fator psicológico desencadeado pela presença de vegetação altera o resultado da percepção que forma a paisagem sonora.

O nível de incômodo gerado por estímulos sonoros é relativo ao grupo analisado uma vez que o que é caracterizado como ruído por determinado grupo pode não o ser por outro. A percepção de um estímulo sonoro está inserida em um processo de grande complexidade no qual a fonte sonora é identificada, sua direção e distância avaliadas, a identificação prévia de estímulos semelhantes é realizada e comparada com as situações em que este som foi ouvido anteriormente. Este resgate da memória sonora retoma também sensações e paisagens observadas anteriormente. Para a avaliação do incômodo é necessário separar analiticamente a estrutura do estímulo sonoro de características subjetivas individuais como percepção de altura e prazer, uma vez que diferentes grupos de indivíduos – residentes e visitantes, por exemplo – possivelmente expressarão diferentes julgamentos sobre um mesmo estímulo (FARINA, 2014).

Dependendo da abordagem adotada, as dimensões principais de avaliação estarão no campo do “prazer” (*pleasantness*) e “agitação” (*eventfulness*, *uneventfulness*), que podem ainda ser combinados, resultando nos conceitos de “vitalidade” (*vibrancy*) – que une *pleasantness* e *eventfulness*, e “calma” (*calmness*) – que une *pleasantness* e *uneventfulness*. A dimensão vitalidade

pode ser representada em uma escala que vá de monótona a excitante, e a dimensão calma pode ser interpretada em uma escala que vá de sossegado a caótico. Pode-se argumentar que essas dimensões do comportamento manifesto estão mais relacionadas ao indivíduo que ao ambiente acústico propriamente dito, entretanto, sendo a paisagem sonora proveniente da interpretação pessoal, isto não é um problema (BOTTELDOOREN *et al.*, 2016).

Para a abordagem holística da matéria, como vimos necessária, geralmente são realizadas entrevistas ou aplicados questionários estruturados aos usuários como ferramenta de obtenção de dados. As etapas geralmente realizadas com os participantes implicam que estes estarão mais atentos aos sons ambientais e, portanto, conseguirão perceber com mais clareza estes sons. Esta abordagem qualitativa descreve como o som é percebido pelo ouvinte, permitindo conectar as sensações pessoais ou de grupo com uma semântica do campo que possibilita considerar a paisagem sonora como um fenômeno de natureza da percepção emocional do espaço e que, como consequência direta, indica que a diferença entre ruído e som, neste campo, é determinada pela sensação pessoal.

Desta forma, Farina (2014) sugere uma diferente abordagem para confecção da semântica sonora considerando três níveis, a saber : a) fontes sonoras, que se referem às entidades físicas que podem ser geradas por múltiplos agentes ou componentes; b) descritores do som, que se referem à identificação dos sons por substantivos – como rugido, batida, buzina; e c) descritores de paisagem sonora, que se referem aos sons de procedência por agentes indistintos, divididos em quatro categorias e caracterizados como cacofonia, burburinho, constantes e temporais.

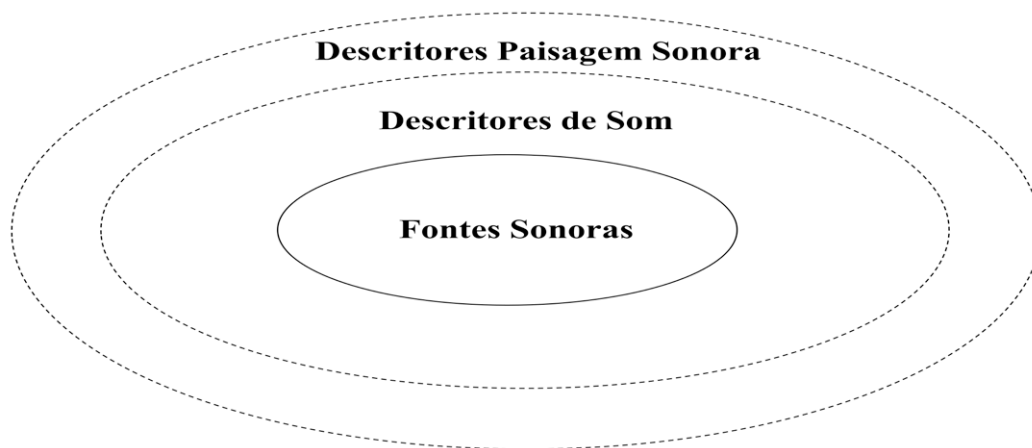


Figura 5 – Componentes da paisagem sonora em relação à reação individual ao ambiente sonoro.

Fonte: adaptada de Farina, 2014.

A categoria cacofonia descreve uma paisagem sonora percebida de forma negativa e/ou, por isso, associada a uma experiência auditiva também negativa. A categoria burburinho descreve um misto de sons percebidos positivamente e/ou associados a uma experiência auditiva positiva. A categoria constante se refere a um som contínuo que mascara outros sons ambientais, sendo que

esta categoria pode ser identificada tanto como positiva quanto como negativa, dependendo da atividade que se realiza na presença de sons desta natureza. A categoria temporal conforma os sons que são repetidos de forma intermitentes com intervalos que variam de segundos a minutos. As quatro categorias podem ser organizadas em duplas: cacofonia-burburinho e constante-temporal. A primeira descreve como os sons são misturados, produzindo conforto ou desconforto. A segunda descreve o ritmo e o nível de monotonia da paisagem sonora (FARINA, 2014).

CONCLUSÃO

Apresentados os conceitos e questões, percebe-se que a paisagem sonora advém da percepção do indivíduo em relação ao ambiente sonoro em que está inserido. A percepção e a decodificação dos estímulos presentes neste ambiente sonoro estão intimamente ligadas a fatores socioculturais e pessoais de quem o interpreta, sendo a paisagem sonora resultante distinta para cada indivíduo.

Por conta do caráter subjetivo, a avaliação da qualidade na paisagem sonora depende da obtenção de dados de forma predominantemente qualitativa, que permita a análise das interações individuais com o ambiente acústico e suas respostas na composição da paisagem sonora. Somados à análise qualitativa, pode-se utilizar ferramentas para coleta quantitativa e de reações fisiológicas mensuráveis relativas à exposição sonora lembrando-se, entretanto, que as respostas psicológicas avaliadas qualitativamente possuem prevalência em relação às demais.

A avaliação holística dos fatores e das interações, para esta disciplina, mostra-se mais produtiva em relação à abordagem puramente quantitativa, diretamente mensurável por aparelhos e padronizada, que geralmente permeia o campo de estudo da acústica, demonstrando-se como possibilidade de expansão com obtenção de melhores resultados na solução de problemas prementes relativos ao som nas sociedades atuais.

REFERÊNCIAS

ANSELMET, F.; MATTEI, P. *Acoustics, aeroacoustics and vibrations*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.

BOTTELDOOREN, D.; ANDRINGA, T.; ASPURU, I.; BROWN, A. L.; DUBOIS, D.; GUASTAVINO, C.; KANG, J.; LAVANDIER, C.; NILSSON, M.; PREIS, A.; SCHULTE-FORTKAMP, B. From sonic environment to soundscape. In: KANG, J.; SCHULTE-FORTKAMP, B. *Soundscape and the built environment*. Boca Raton: CRC Press, 2016. pp.17-41.

BROWN, A. L.; GJESTLAND, T.; DUBOIS, D. Acoustic environments and soundscapes. In: KANG, J.; SCHULTE-FORTKAMP, B. *Soundscape and the built environment*. Boca Raton: CRC Press, 2016. pp.1-16.

BUCUR, V. *Urban Forest Acoustics*. Berlin: Springer, 2006.

FARINA, A. *Soundscape Ecology: principles, patterns, methods and applications*. Dordrecht: Springer, 2014.

MAEKAWA, Z.; RINDEL, J. H.; LORD, P. *Environmental and Architectural Acoustics*. New York: Spon Press, 2011.

SCHAFER, R. M. *The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world*. Rochester: Destiny Books, 1997.

TEMPLETON, D.; SACRE, P.; MAPP, P.; SAUNDERS, D. *Acoustics in the built environment: advice for the design team*. Oxford: Architectural Press, 1997.

CAPÍTULO 4

GESTÃO E APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA

MAXIMILIANO MAGALHÃES; MARIA APARECIDA STEINHEZ HIPPERT⁴
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

INTRODUÇÃO

A urbanização é um processo cada vez maior ao redor do mundo. Estima-se que mais da metade da população do planeta viva em cidades e, segundo a ONU, até o ano de 2050, 66% da população mundial estará vivendo em centros urbanos. No Brasil, de acordo com o censo de 2010, 84% da população brasileira vivia em áreas urbanas.

O Poder Público, bem como a coletividade, tem o dever de cuidar do meio ambiente de maneira a auxiliar na qualidade de vida da população. Desta forma é responsabilidade da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, reger os critérios de cooperação administrativa sobre proteção ao meio ambiente e combate à poluição em qualquer de suas formas. Ao Poder Público Municipal cabe ainda fixar os critérios para a gestão ambiental urbana de maneira que as cidades se tornem mais humanas (SIRVINSKAS, 2000).

Dentre as inúmeras necessidades de adequação das cidades ao conforto dos cidadãos, tem-se a arborização urbana como um item a auxiliar o bem-estar humano no centro urbano. O plantio de árvores em áreas urbanas é fundamental para a ornamentação das cidades, o equilíbrio térmico, a conservação gênica dentre outros fatores. Porém a manutenção da arborização urbana através de podas e remoções de árvores, gera uma quantidade significativa de resíduos (ROSETTI *et al.*, 2010).

A questão dos resíduos, no Brasil, é tratada na lei nº 12.305 de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Nela, os resíduos gerados pelo corte e poda de árvores podem ser considerados como resíduos sólidos urbanos não perigosos. Já segundo a Norma Brasileira - NBR 10004/2004, que trata da classificação de resíduos sólidos, os resíduos de corte e poda de árvores podem ser considerados como resíduos de Classe II A – não inertes. Desta forma, de acordo com a classificação legal vigente, a disposição destes resíduos deve ter como destino final o aterro sanitário.

Porém, é comum os municípios brasileiros encontrarem dificuldades para a disposição dos resíduos de arborização devido ao seu volume e às suas características físicas, que inviabilizam a

⁴ E-mail: magalhaes_mc@yahoo.com.br; aparecida.hippert@ufff.edu.br

compactação. Isto faz com que a sua disposição nos aterros sanitários se torne mais difícil e onerosa visto que, além do custo da disposição tem-se também de ser considerado o custo de transporte. Além disso, a vida útil dos aterros se reduz em virtude da degradação lenta e do grande volume dos resíduos da arborização e, ainda, aumenta-se o risco de combustão e das operações com máquinas nos aterros (MEIRA, 2010).

Neste sentido, é crescente a busca por formas mais sustentáveis de tratamento dos resíduos da arborização urbana. Isto inclui uma gestão mais adequada destes resíduos bem como o aproveitamento dos mesmos na obtenção de novos produtos e/ ou processos.

ARBORIZAÇÃO URBANA

Arborização pode ser definida como o somatório dos elementos vegetais de porte arbóreo dentro da cidade (Lima *et al.*, 1994). Para estes autores as árvores plantadas em calçadas fazem parte da arborização urbana, englobando as praças, os jardins públicos, os parques urbanos e, os canteiros centrais de avenidas, de trevos e de rotatórias de vias públicas, que exercem apenas funções estéticas e ecológicas. Porém, não integram o sistema de áreas verdes, ou seja, áreas onde há o predomínio de vegetação arbórea. Neste conceito, a arborização urbana é o somatório dos indivíduos arbóreos em uma área onde as árvores não são predominantes, como acontece no caso de um fragmento florestal ou floresta.

Com o aumento da população urbana e das áreas urbanizadas, a importância da arborização urbana tem crescido, fazendo parte da política das administrações públicas que visam o aumento da qualidade de vida e a preservação dos espaços de circulação das pessoas. Parte deste interesse ocorre devido à pressão exercida pela própria comunidade que, ecologicamente consciente, incorpora esses espaços como sinal de uma melhor qualidade de vida, progresso e desenvolvimento urbano. De acordo com o tamanho e com a localização das áreas de arborização urbana, os efeitos sobre o paisagismo e a melhora no microclima local beneficiam de modo direto a vida da população (BONAMETTI, 2000).

Por suas características naturais, as árvores proporcionam muitas vantagens ao homem que vive na cidade. Pode-se citar como exemplos: o bem-estar psicológico, a sombra para os pedestres e veículos, o amortecimento do som, a redução do impacto da água de chuva e de seu escoamento superficial, a melhoria da qualidade do ar e a preservação da fauna silvestre (PIVETTA; SILVA FILHO, 2002). As árvores ainda proporcionam efeitos estéticos uma vez que auxiliam na forma, na cor, na estampa e na textura da paisagem urbana; definem e emolduram vistas e espaços, proporcionando pontos focais; contribuem para a atenuação da diferença de escala ou de proporção entre as construções e o homem no meio urbano suavizando linhas arquiteturais e promovendo um escalonamento; diminuem a monotonia do pavimento e da alvenaria; e contribuem como um aparato dinâmico à paisagem urbana pelos seus aspectos fenológicos (BIONDI; ALTHAUS, 2005).

Porém, também são comuns os conflitos entre a arborização e o ambiente urbano. As árvores enfrentam nesse meio alguns problemas como: deficiência de água e nutrientes; solo compactado ou alterado, com a presença de entulhos; poluição do ar; temperaturas modificadas e radiação solar alterada (sombreamento); podas drásticas (mutilação da árvore); espaço reduzido para crescer tanto para as raízes como para a copa; danos mecânicos (causados por veículos, cortadores de grama, anelamento do tronco, e outros) e vandalismo (MELO, 2016). Um dos principais conflitos existentes na arborização viária de uma cidade é a competição entre as árvores nas calçadas e as redes elétricas pelo mesmo espaço. Outro fato que causa perturbação diz respeito aos prejuízos e aos danos causados por podas mal realizadas, podendo gerar a perda de estabilidade da árvore e consequente tombamento sobre casas, carros e fiações. Ainda, a poda em árvores urbanas é um dos principais motivos de perda do indivíduo, sendo elevado o número de árvores que morrem após tal operação (VELASCO, 2003).

RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA

Entende-se por resíduos da arborização os subprodutos madeireiros e não madeireiros provenientes da poda e corte de árvores. Os subprodutos madeireiros para essa classificação incluem: troncos, raizeiros e ramos de bitolas maiores. Os subprodutos não madeireiros abrangem: ramos finos, folhas, cascas de árvores, frutos, sementes, substâncias químicas presentes nas diferentes partes do vegetal, etc. (LAPROVITERA, 2005). Simplificando, pode-se dizer que as operações de poda e remoção da arborização urbana geram resíduos na forma de galhos, ramos, folhas, sementes, frutos, fustes e raízes (MEIRA, 2010).

A minimização da geração, a utilização e a valorização dos resíduos de poda auxiliariam na economia de recursos naturais e de combustível e, conseqüentemente, na redução de emissão de gases poluentes, os quais deixariam de ser liberados pelos caminhões que transitam pelas cidades e pelas rodovias para acessarem os aterros. Além disto, por suas características naturais, os resíduos da arborização urbana possuem grande potencial para serem aproveitados (MEIRA, 2010).

De acordo com seu potencial de uso final os resíduos de arborização podem ser categorizados em três classes: baixa, média e alta qualidade. Os resíduos de alta qualidade poderiam gerar produtos mais nobres, de madeira serrada, como mobiliários, pisos, artigos de arte, dentre outros, produzidos a partir de toras de madeira com maior bitola. Os de média qualidade gerariam produtos de uso na indústria ou no comércio, como caixas para embalagens de madeira, paletes ou lenha para aquecimento, sendo formados pelo material lenhoso, porém, de menor diâmetro. Por último, os resíduos de baixa qualidade, quando comparados com a madeira em tora, serviriam para produção de *mulch* (cavacos de madeira de diferentes tamanhos utilizados como uma camada de proteção aplicada à superfície do solo), pellets (pequenas partículas granuladas normalmente de 5 a 7 milímetros, originadas da compressão de um material), biomassa (matéria orgânica de origem vegetal utilizada como fonte de energia) e composto orgânico (matéria orgânica decomposta

utilizada como fonte de nutrientes para o solo), sendo originário de material lenhoso fino triturado, galhos, raízes e folhagem (TREE CARE INDUSTRY ASSOCIATION, 2013; ENDAHK, 2015).

GESTÃO DOS RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA

Um modelo adequado de gestão para os resíduos de corte e poda deve prever soluções em três linhas de ação: redução da geração, valorização e disposição. É de suma importância a criação de políticas ambientais que produzam diretrizes para o sistema de arborização e gerenciamento dos resíduos, que podem estar interligados ao conceito de floresta urbana de produção (MEIRA, 2010).

Embora seja difícil uma abordagem precisa sobre a valorização de resíduos oriundos da arborização urbana, Bidone (2001) ressalta a importância da redução de resíduos na origem. Esta ação requer modificação ou substituição de processos, e de equipamentos de produção, de materiais e de alteração de hábitos em decorrência destas mudanças.

Guo *et al.* (2017) realizaram uma estimativa da quantidade de resíduos de árvores gerados na China. O estudo considerou os resíduos de florestas comerciais, de florestas nacionais, de indústrias (celulose, moveleira, etc.), de arborização urbana, de produtos de madeira descartados, dentre outros. No caso dos resíduos de arborização, os registros referem-se aos ramos, cascas, folhas, raízes e troncos produzidos no processo de manutenção da arborização através de poda e de corte de árvores em área urbana, deixando claro que os resíduos gerados são de diferentes tipos, qualidades e quantidades, pois são provenientes de uma vasta variedade de espécies, tamanhos, etc. O resultado do trabalho mostrou um total de resíduo de madeira gerado no país de 51.163,12 Mt no ano de 2015, sendo que deste total aproximadamente 2%, ou 974,69 Mt, referem-se aos resíduos da arborização urbana. O estudo também afirma que a utilização destes resíduos pode aliviar a contradição entre oferta e demanda causada pelo declínio na produção de madeira, e também pode trazer benefícios econômicos e aumentar a geração de emprego, devendo o tema atrair mais atenção do governo, das empresas e dos pesquisadores.

Nos Estados Unidos, Endahl (2015) desenvolveu um estudo para o estado da Virgínia, no qual foram estimados os resíduos da arborização recebidos nos centros de tratamento de nos anos de 2010 a 2013. Verificou-se que no estado menos de 8% dos resíduos da arborização urbana, vindos de áreas públicas e privadas, são dispostos nos aterros sanitários, a grande maioria dos resíduos são reciclados, viram *mulch* ou compostos. Constatou-se que a principal utilização do resíduo é para a produção de *mulch*, com uma média de 228,8 toneladas para os anos estudados, ou 50% de todo resíduo da arborização recebido, seguido da produção de composto orgânico com uma média de 119,8 toneladas (25%). Assim, a produção de *mulch* e compostagem representa 75% de todo resíduo da arborização recebido (Tabela 1).

No mesmo estudo, Endahl (2015), através de questionários aplicados a pessoas que estavam diretamente relacionadas aos serviços de manutenção da arborização urbana no estado

da Virgínia, – EUA, seja do setor público (manutenção de parques, praças e jardins) ou setor privado (empresas prestadoras de serviços de arboricultura), estimou a quantidade de resíduos, segregados por atividade de manejo da arborização, seja poda, remoção de árvores, recolhimento de galhada já caída, e outros. Chegou-se à conclusão que mais de 95% dos resíduos da arborização gerados pelo setor público estão dentro destas três atividades apontadas e, dentro do setor privado 88% dos resíduos são gerados por podas e corte de árvores (Tabela 2).

Tabela 1 - Resíduos da arborização (toneladas e percentual) recebidos nos centros de tratamento de resíduos no estado da Virgínia (EUA).

Destino/Ano	2010	2011	2012	2013
Aterro Sanitário	17,4 (4%)	38,1 (7%)	19,6 (4%)	28,7 (7%)
Reciclado	38,7 (8%)	43,7 (8%)	34,2 (7%)	41,4 (10%)
Compostagem	116,5 (26%)	138,7 (24%)	121,0 (26%)	103,0 (24%)
Mulch	216,1 (48%)	227,4 (49%)	261,5 (56%)	210,2 (49%)
Outros	63,1 (14%)	65,9 (12%)	31,1 (7%)	41,7 (10%)

Fonte: adaptado de Endahl, 2015.

Tabela 2 - Geração de resíduos da arborização no Estado da Virgínia (EUA).

Práticas que geram resíduos da arborização (%)	Setor	
	público	privado
Poda	31%	45%
Corte	32%	43%
Galhada caída	32%	2%
Outros	5%	10%

Fonte: adaptado de Endahl, 2015.

A quantificação dos resíduos gerados pela poda ou pela remoção de árvores pode ser vista também no trabalho de Laprovitera (2005). No estudo foram levantados os resíduos gerados pela Fundação Parques e Jardins (FPJ) da Prefeitura do Rio de Janeiro durante os anos de 2002 a 2004 (Tabela 3). O levantamento foi realizado a partir dos laudos de vistoria da FPJ que estima a cubagem

a ser retirada na poda ou na remoção da árvore. A cubagem apresentada no estudo foi expressa em metros esteres (mst), que representa o volume aparente do material vegetal presente em um monte com as dimensões 1,0 m x 1,0m x 1,0m. Para se obter o volume sólido existente em um metro estere é necessário calcular um fator de cubicação ou de conversão (FINGER, 1992).

No estudo, levando-se em consideração os três anos de referência, tem-se uma média anual de 15.383 mst, variando-se de 13.670 a 16.319 mst/ano o que indica uma constância na geração deste resíduo (LAPROVITERA, 2005).

Tabela 3 - Quantificação de resíduos gerados pela FPJ.

Ano		Volume total gerado (mst)	Média mensal (mst)
2002	Terceirizadas	13.387	1.116
	FPJ	2.932	244
	Total	16.319	1.360
2003	Terceirizadas	10.766	897
	FPJ	2.904	242
	Total	13.670	1.139
2004	Terceirizadas	13.066	1.307
	FPJ	3.093	16.159
	Total	258	1.565

Fonte: adaptado de Laprovitera, 2005.

Em data posterior, Cortez (2011) estudou a disposição de resíduos de poda urbana em municípios brasileiros com mais de 500 mil habitantes. Foram contatadas 40 cidades sendo que apenas sete prefeituras enviaram seus dados. Para outros três municípios foram encontradas informações na literatura. Nota-se que todos os municípios que enviaram seus dados apresentam quantidade relevante de resíduos da arborização, apontando um volume gerado de até 40 mil toneladas de resíduos de poda urbana por ano, como no caso da cidade de Goiânia. Dos municípios que forneceram informações, quatro destinam 100% dos resíduos da arborização a aterros sanitários (Tabela 4).

Os números apresentados dão mostra do expressivo volume de resíduos gerados. Neste sentido, uma importante ferramenta para auxílio na gestão de resíduos no Brasil é o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (– SNIS). Ele foi criado e é administrado pelo Governo Federal, vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (– SNSA) do Ministério das Cidades. O SNIS é o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento brasileiro, cujos objetivos se destacam: planejamento e execução de políticas públicas; orientação da aplicação de recursos; avaliação de desempenho dos serviços; aperfeiçoamento da gestão, elevando os níveis de eficiência e eficácia; e orientação de atividades regulatórias, de fiscalização e de controle social (SNSA, 2015).

Tabela 4 - Quantidade e destinação de resíduos de poda urbana no Brasil.

Município	Quantidade	Destino
Aracaju / SE	1.778 t/ano	aterro sanitário
Goiânia / GO	40.000 t/ano	aterro sanitário
Londrina / PR	180 t/dia	não informado
Natal / RN	80 t/dia	aterro e lenha
Niterói / RJ	1.070 m ³ /mês	aterro sanitário
Porto Alegre / RS	150-200 m ³ /dia	energia/compostagem
Recife / PE	indisponível	compostagem e aterro
Rio de Janeiro / RJ	15.383 mst/ano	não informado
São Bernardo do Campo / SP	2.640 m ³ /ano	compostagem
São José dos Campos / SP	100 t/dia	energia

Fonte: adaptado de Cortez, 2011.

O SNIS é dividido em dois componentes: Água e Esgotos (SNIS-AE) e Resíduos Sólidos (SNIS-RS). Para esse último, as informações são coletadas junto aos órgãos municipais encarregados dos serviços e os indicadores são calculados com base nessas informações. Neste trabalho são apresentados os dados referentes aos resíduos sólidos (SNIS-RS) por englobarem os resíduos verdes, incluindo-se aí os resíduos de arborização urbana (SNSA, 2015).

A SNSA através do SNIS publicou o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (– 2015), no qual são identificadas em todo território nacional 19 unidades de processamento de resíduos que atuam com o manejo de galhadas e de podas, sendo 15 (79%) delas operadas por órgão públicos, prefeituras ou superintendências de limpeza urbana (SLU), e 4 unidades operadas por empresas privadas, trabalhando um total de 71.177 toneladas no ano de 2015 conforme a Tabela 5.

A região do país com mais unidades de processamento é a região Sul, sendo o estado do Paraná o que possui mais unidades, quatro no total, nas cidades de Campo Largo, Cruzeiro do Oeste, Dois Vizinhos e Nova Aurora.

A cidade com maior volume de resíduos da arborização processados por unidade foi Campo Largo, no Paraná, que no ano de 2015 recebeu 23.760 toneladas de resíduos, seguida pela cidade de

Sobral, no Ceará, com 20.270 toneladas. A cidade de Bayeux, na Paraíba, apesar de ter informado a existência de uma unidade de processamento de resíduos de galhadas e podas operada por empresa privada, não forneceu os dados sobre a quantidade de resíduos recebidos no ano de 2015.

Tabela 5 - Unidades de processamento de resíduos de galhos e de podas por cidade do brasileira.

Municípios	Quantidade de resíduo recebida (tonelada/ano)	Operador da unidade
Novo Airão/AM	60	Prefeitura ou SLU
Candiba/BA	10	Prefeitura ou SLU
Horizonte/CE	7.045,00	Prefeitura ou SLU
Sobral/CE	20.270,00	Prefeitura ou SLU
Lagoa Santa/MG	12	Prefeitura ou SLU
Bayeux/PB	N/A	Empresa privada
Campo Largo/PR	23.760,00	Prefeitura ou SLU
Cruzeiro do Oeste/PR	1.202,40	Prefeitura ou SLU
Dois Vizinhos/PR	480	Empresa privada
Nova Aurora/PR	260	Prefeitura ou SLU
Quinze de Novembro/RS	68,4	Prefeitura ou SLU
Florianópolis/SC	2.396,00	Prefeitura ou SLU
Salto Veloso/SC	16	Prefeitura ou SLU
Limeira/SP	3.441,00	Empresa privada
Mirandópolis/SP	285,4	Prefeitura ou SLU
Ouroeste/SP	95	Prefeitura ou SLU
Rio Claro/SP	1.200,00	Empresa privada
Tupi Paulista/SP	2.723,80	Prefeitura ou SLU
Porto Nacional/TO	7.852,00	Prefeitura ou SLU

Fonte: Adaptado de SNIS-RS (2015).

Também através do SNIS, foram identificadas 41 unidades de processamento que realizam compostagem, seja em pátio ou usina, processando no ano de 2015 um total de 283.203 toneladas de resíduos, conforme Tabela 6.

Das 41 unidades de compostagem, 3 são operadas por associações de catadores, 6 por empresas privadas, e a grande maioria 32 (78%) por órgãos públicos prefeituras ou SLU's.

Tabela 6 - Unidades de compostagem (pátio ou usina) por cidade brasileira.

Município	Quantidade recebida na unidade de processamento (tonelada/ano)	Operador da unidade
Rio Branco/AC	112,5	Prefeitura ou SLU
Mucugê/BA	200	Prefeitura ou SLU
Brasília/DF	37.987,00	Empresa privada
Abre Campo/MG	56	Prefeitura ou SLU
Argirita/MG	N/A	Associação de catadores
Belo Horizonte/MG	2.695,00	Prefeitura ou SLU
Belo Vale/MG	540	Prefeitura ou SLU
Carmo da Cachoeira/MG	5.930,50	Prefeitura ou SLU
Catas Altas/MG	433	Prefeitura ou SLU
Coimbra/MG	1.342,10	Prefeitura ou SLU
Descoberto/MG	159	Prefeitura ou SLU
Dionísio/MG	758	Prefeitura ou SLU
Dores do Indaiá/MG	2.496,00	Prefeitura ou SLU
Entre Rios de Minas/MG	517	Prefeitura ou SLU
Guarani/MG	261	Prefeitura ou SLU
Ipanema/MG	408,9	Prefeitura ou SLU
Juruiaia/MG	2.400,00	Prefeitura ou SLU
Pingo-d' Água/MG	438,8	Prefeitura ou SLU
Pocrane/MG	2.951,00	Prefeitura ou SLU
Presidente Kubitschek/MG	N/A	Prefeitura ou SLU
Rio Espera/MG	150	Prefeitura ou SLU
Santa Cruz do Escalvado/MG	240	Prefeitura ou SLU
São João Batista do Glória/MG	1.378,00	Prefeitura ou SLU
São Tiago/MG	20	Prefeitura ou SLU
Dores do Turvo/MG	312	Prefeitura ou SLU
Senador Firmino/MG	624	Prefeitura ou SLU
Seritinga/MG	1	Empresa privada
Serranópolis de Minas/MG	45	Prefeitura ou SLU
Simão Pereira/MG	253	Empresa privada
Turvolândia/MG	1.040,00	Prefeitura ou SLU
Virgolândia/MG	N/A	Prefeitura ou SLU
Bituruna/PR	3.500,00	Prefeitura ou SLU
Tibagi/PR	3.000,00	Associação de catadores
Cantagalo/RJ	1.316,00	Empresa privada
Rio de Janeiro/RJ	18.147,00	Prefeitura ou SLU
Ciríaco/RS	510	Associação de catadores
Porto Alegre/RS	1.499,00	Prefeitura ou SLU
Florianópolis/SC	3.004,00	Prefeitura ou SLU
Garça/SP	10.800,00	Prefeitura ou SLU
Piracicaba/SP	25.689,00	Empresa privada
São José do Rio Preto/SP	151.989,00	Empresa privada

Fonte: adaptado de SNIS-RS, 2015.

Quando se analisa a realização da compostagem em unidades de tratamento de resíduos, a região Sudeste se destaca com 233.390 toneladas, 84% dos resíduos recebidos para tal finalidade. A região do país com mais unidades de compostagem ativas também é a região Sudeste com 33 unidades, onde se destaca o estado de Minas Gerais, possuindo 28, ou 68%, das unidades de compostagem identificadas no SNIS. A cidade de São José do Rio Preto no estado de São Paulo se destaca pela quantidade de resíduos processados em sua unidade de compostagem com um total no ano de 2015 de 151.989 toneladas, correspondendo a 54% do total recebido por unidades de compostagem no país. As cidades de Argirita, Presidente Kubitschek e Virgolândia, no estado de Minas Gerais, apesar de terem informado que existem unidades de compostagem, não forneceram dados sobre a quantidade de resíduos recebidos no ano de 2015.

O diagnóstico resume os dados obtidos no levantamento das informações advindas diretamente do órgão gestor municipal encarregado dos serviços de resíduos sólidos, sendo que a participação do município no levantamento não era obrigatória. Assim, apesar da amostra de municípios ser crescente a cada ano, alguns não enviam os dados. Desta forma, apesar da possibilidade de alguma subestimação no conjunto dessas unidades, tais números denotam claramente a enorme deficiência do país nesse campo, em maior evidência ainda quando se admite que beira os 50% a parcela de matéria orgânica presente na massa de resíduos domiciliares (SNSA, 2015).

Desta forma, de acordo com as informações contidas nos SNIS-2015, o Brasil ainda necessita de um grande trabalho para alcançar a adequada gestão dos resíduos da arborização. Atualmente, somente sessenta unidades cadastradas têm possibilidade de proporcionar a utilização dos resíduos de corte e poda de árvores, seja através de unidades de processamento de resíduos de galhadas e podas ou de unidades de compostagem.

Neste sentido, Meira (2010) propõe um plano de gerenciamento de resíduos da arborização, baseado em diferentes modelos de gestão, constituído das seguintes etapas:

- Comprometimento, planejamento e organização da instituição.
- Envolvimento de atores locais.
- Realização de um diagnóstico qualitativo e quantitativo dos resíduos gerados.
- Definição de objetivos, de metas, e de prioridades de ações.
- Elaboração de projetos para redução da geração, valorização, tratamento e disposição final dos resíduos.
- Determinação para a resolução dos problemas de gestão.
- Determinação de critérios para a tomada de decisão, sugerindo fontes de informação para consulta.
- Investimento na formação e no treinamento de pessoal capacitado.
- Monitoramento realizado através da elaboração de indicadores de acompanhamento e de desempenho do processo.
- Ajustes no processo através do aprimoramento das estratégias de ação e dos resultados.

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA

Os resíduos da arborização urbana são um componente importante do fluxo de resíduos sólidos urbanos, e a necessidade de sua reutilização foi identificada como um componente essencial para um sistema sustentável de gestão da arborização urbana. No ano 2000, nos Estados Unidos, estimou-se que cerca de 14,5 milhões de toneladas de resíduos da arborização urbana foram gerados, correspondendo a 7% do total de resíduos sólidos urbanos naquele ano. Tais resíduos formam um recurso tão grande, ou maior, que as madeiras colhidas em florestas nacionais. Estas duas fontes de materiais têm propriedades distintas: resíduos da arborização urbana são tipicamente adequados para produtos com menor valor agregado como o *mulch*, composto orgânico; enquanto a madeira da floresta nacional é adequada para produtos mais nobres, que utilizam madeira maciça, e também para a produção de celulose, com maior valor agregado (McKEEVER; SKOG, 2003).

Os estudos realizados levam a crer que a maior utilização dos resíduos da arborização urbana pode proporcionar oportunidades de ganhos financeiros e ambientais, que incluem a redução da disposição de resíduos e do pagamento de taxas de cobrança nos aterros, a melhor gestão ambiental e a criação de mercados adicionais ao envolver os produtos florestais tradicionais. Além disso, proporciona um maior engajamento da comunidade com melhores práticas de gestão e campanhas educacionais aproximando o público geral do gestor administrativo (TREE CARE INDUSTRY ASSOCIATION, 2013).

Endahl (2015) afirma que nos Estados Unidos existe um grande esforço para utilização dos resíduos da arborização antes que sejam dispostos no aterro sanitário. Segundo o autor, esses esforços resultam não somente na redução dos custos de descarte, mas também proporcionam outras oportunidades de ganho econômico. Os resíduos de arborização podem ser aproveitados através de duas formas: do uso energético e do não energético.

Uso energético

Os processos de conversão energética da biomassa florestal podem ser classificados segundo a natureza dos métodos aplicados em: processos físicos, termoquímicos e biológicos. Todas essas tecnologias são aplicáveis aos resíduos de poda (CORTEZ, 2011).

O processo físico de adensamento envolve o uso de pressão mecânica, com ou sem a presença de agente aglomerante, capaz de reduzir o volume da matéria-prima e de aumentar seu conteúdo energético por unidade de volume. Em se tratando de um resíduo volumoso, heterogêneo e com baixa densidade, o processo físico de adensamento pode ser bastante vantajoso para a utilização da biomassa em termos econômicos, sociais e ambientais. Pode ser feito através de: extrusão (sob pressão forma-se um sólido geométrico compacto de alta densidade), briquetagem (é aglomeração do material particulado por meio de aplicação de alta temperatura ou pressão,

com ou sem adição de ligantes), peletização (pressão exercida entre os componentes causando uma força de fricção que aquece e que pressiona o material através de perfurações da matriz) (SILVA, 2016).

Silva (2016) exemplificou o processo físico de adensamento da poda de árvores realizando ensaios com duas amostras de composições diferentes. A primeira constituída apenas de galhos secos de árvore e outra composta por galhos com folhagem. Concluiu-se que *pellets* obtidos através de resíduos de poda de árvores possuem características satisfatórias de resistência ao manuseio e densidade energética nove vezes maior em relação ao resíduo de poda de árvore *in natura*, demonstrando, assim, que o aproveitamento energético de poda é uma alternativa promissora. Porém, os briquetes produzidos no estudo, apesar de fazerem uso de uma tecnologia que pode ser aplicada, não apresentaram resultados satisfatórios nas condições do estudo, exibindo baixa resistência mecânica.

O processo termoquímico envolve a transformação da energia química existente nos resíduos de poda urbana ou em outro dendrocombustível através de reações realizadas com objetivo de liberar energia térmica para alguma finalidade, como para a cocção de alimentos, o aquecimento de ambientes ou de água, e a geração de vapor e de energia elétrica. Os processos termoquímicos mais comuns envolvem a combustão, a pirólise e a gaseificação (CORTEZ, 2011; ANEEL, 2008):

- **Combustão direta:** tecnologia dendroenergética mais disseminada e que pode ser realizada nos mais variados equipamentos como fogões, fornos e caldeiras, embora prático e às vezes conveniente, o processo de combustão é normalmente a pior forma de obtenção de poder calorífico.
- **Pirólise ou carbonização:** consiste em aquecer a madeira na ausência de ar para retirada de material volátil e para a concentração de carbono. O principal produto final é o carvão que possui queima em temperaturas muito mais elevadas e densidade energética duas vezes maior do que o material de origem. Como subprodutos, têm-se gás combustível, alcatrão e ácido pirolenhoso.
- **Gaseificação:** processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo e, principalmente, devido à opção por água ou oxigênio na oxidação.

Cabe salientar que no estado de Minas Gerais o emprego da tecnologia de incineração no processo de destinação final dos resíduos sólidos urbanos, oriundos do sistema de coleta do serviço público de limpeza urbana nos municípios, não pode ser utilizada. Excetuando-se a tecnologia de coprocessamento em fornos de fábricas de cimento, esta proibição abrange também as concessões públicas para empreendimentos que promovam o aproveitamento energético a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos oriundos da coleta convencional.

Por outro lado, vale ressaltar o potencial termoquímico de resíduos da arborização, considerando a alta capacidade de produção de carvão vegetal com as madeiras de poda (LUZ, 2012; MEIRA, 2010).

Por fim, tem-se o processo biológico que ocorre através da digestão anaeróbia que permite o aproveitamento energético pela conversão da matéria orgânica na ausência de oxigênio. É um processo bioquímico que ocorre em quatro principais estágios: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Para a realização do processo de digestão anaeróbia são utilizados equipamentos conhecidos como biodigestores, que basicamente são câmaras onde ocorre a degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio. O biogás produzido durante a digestão anaeróbia é um gás energético constituído principalmente por metano, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio, geralmente saturado em vapor de água e com presença de traços de nitrogênio e de outros compostos. Utilizando-se um motor-gerador, o gás produzido no processo pode ser utilizado para geração de energia elétrica. Outro produto do processo de digestão anaeróbia é o lodo, que após esta etapa de tratamento pode ser separado em duas frações: a sólida, geralmente destinada a uma etapa de compostagem aeróbia, e a líquida, que pode ser destinada para o processo de fertirrigação (SILVA, 2016).

Apesar de se mostrar uma possibilidade de uso, Cortez (2011) considera que os custos de geração da energia elétrica em biodigestores a partir de resíduos de poda urbana, considerando uma pequena central termoelétrica utilizando-se da gaseificação, não justificam sua instalação, pois estes valores são muito superiores se comparados aos custos de produção de uma usina termoelétrica de grande porte.

Uso não-energético

Os resíduos de poda urbana podem também ser aproveitados sem considerar o uso energético como, por exemplo, nos processos de compostagem. De acordo com a resolução 481 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a compostagem pode ser definida como um processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem.

É um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas (matéria orgânica presente no solo). Como resultado deste processo biológico, são gerados dois componentes importantes: nutrientes, indispensáveis para as raízes das plantas, e húmus, um material necessário para desenvolver as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo, ou seja, o composto atua de maneira dinâmica na melhoria dos solos (KIEHL, 1998).

Os resíduos vegetais possuem em média 90% de água. As folhas são mais ricas em água, e a matéria seca restante é formada por celulose, açúcares e proteínas, onde encontram-se os

macros e micronutrientes. Os minerais encontrados na biomassa vegetal são os mesmos que a planta necessita retirar do meio para se nutrir. Portanto, pode-se admitir que os teores de nutrientes e de metais tóxicos encontrados no composto dos resíduos da poda podem refletir de certa forma a composição do solo urbano de onde estes resíduos verdes foram retirados (BARATTA JUNIOR, 2007).

Na compostagem, o principal indicador do desempenho do processo é o controle da temperatura. Uma faixa ótima para a compostagem é a que vai de 50 a 70°C, sendo 60°C a mais indicada. Em experimento realizado foi verificado que é possível compostar resíduos da poda provenientes de galhadas com até 8,0 cm de diâmetro sem a utilização de outras fontes orgânicas e/ou minerais (BARATTA JUNIOR, 2007; KIEHL, 1998).

No Brasil, a mesma resolução CONAMA 481, citada anteriormente, estabelece os critérios e os procedimentos para o controle da produção e a promoção da qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos e do composto final. A resolução deixa claro que ela não se aplica a processos de compostagem de baixo impacto ambiental, desde que o composto seja para uso próprio, ou, quando comercializado, a transação seja feita diretamente com o consumidor final.

Um exemplo de implantação de uma compostagem pode ser visto no trabalho de Cortez (2011), que desenvolveu um projeto piloto numa área cedida na sede do Projeto Pomar, na cidade de São Paulo. Foram utilizados equipamentos como: triturador, balança, termopares, pHmetro. A área de instalação da usina piloto era formada por um pátio concretado de 120 m², e dois pátios concretados com 80 m² cada, nos quais foram montadas as leiras e uma área destinada ao recebimento de resíduos de poda e de trituração. Foram utilizadas duas formas de aeração das leiras, através do revolvimento manual e da aeração estática. Após a montagem das leiras, iniciou-se a operação da usina de compostagem, que consistiu basicamente no revolvimento, no umedecimento das leiras, no monitoramento da temperatura e do H, a fim de controlar o comportamento dos microrganismos presentes, responsáveis pela compostagem do material. O tempo médio de obtenção do composto foi de 170 dias.

A autora conclui que a utilização dos resíduos de poda para a produção de composto orgânico é uma boa alternativa, mostrando que uma usina de compostagem de menor porte apresenta dificuldades para o retorno do investimento se este for o propósito do projeto. Afirma ainda que os resíduos de poda urbana são ricos em Carbono sendo aconselhável a adição de outras substâncias ricas em Nitrogênio para que o material a compostar tenha a relação C/N inicial mais adequada.

Outro estudo realizado na cidade do Rio de Janeiro (BARATTA JUNIOR, 2007) aponta que é possível compostar resíduos provenientes de podas sem a utilização de outras fontes orgânicas e/ou minerais. Este estudo foi realizado em uma área aberta com aproximadamente 200 m², com uma pequena declividade, de forma a não permitir o acúmulo de líquidos na base das leiras. Foi utilizado o processo de compostagem do tipo aeróbico, com aeração e umidade controladas

através de revolvimentos e de regas periódicas, onde a massa vegetal foi disposta em leiras a céu aberto.

O trabalho de compostagem foi desenvolvido em sete fases, de forma artesanal, sendo que o processo de decomposição foi realizado de forma lenta e natural, por não utilizar equipamentos de aeração nem produtos para aceleração da compostagem. Além disto, os resíduos da poda foram preparados sem a adição de outras fontes orgânicas, o que contribuiu para que os custos de produção ficassem mais atrativos (BARATTA JUNIOR, 2007).

As fases utilizadas no processo de compostagem contemplaram:

1. *Recebimento dos resíduos da poda:* o uso das espécies vegetais para compostagem de seus resíduos se deu de acordo com a disponibilidade e o andamento das podas das equipes da Prefeitura.
2. *Triagem dos resíduos:* para melhorar a operacionalidade da máquina trituradora e principalmente, para reduzir o tempo de compostagem dos resíduos, no estudo, optou-se por trabalhar com galhos de no máximo 8,00 cm de diâmetro, pelo fato de os mesmos apresentarem uma menor proporção lignina em sua constituição e uma maior quantidade de folhas e de tecidos tenros.
3. *Trituração dos resíduos:* após a triagem, as galhadas foram inseridas em um triturador com facas rotativas. Este procedimento foi realizado para reduzir as galhadas em partículas de menores tamanhos, porém, variados, proporcionando ao material um aumento da superfície exposta, deixando-o mais suscetível à ação dos microrganismos, facilitando o processo de decomposição.
4. *Formação das leiras:* depois de realizada a trituração, o material foi colocado em leiras de formato trapezoidal com dimensões de 6,0 metros de comprimento e 1,80 metros de largura (base) por 1,60 metros de altura.
5. *Controle do processo de compostagem:* as leiras de compostagem, após sua montagem, foram acompanhadas realizando-se o monitoramento da temperatura.
6. *Peneiramento do composto:* após finalizada a compostagem, o material foi espalhado e revirado diariamente para redução da umidade, obtendo-se um produto seco. O composto então foi passado em uma peneira de 15 mm para a retirada de materiais mais grossos e para a obtenção de uma melhor homogeneização do composto. O produto mais grosso foi reutilizado na formação de novas leiras de compostagem, sendo triturado simultaneamente com as novas galhadas.
7. *Armazenamento do composto:* o composto final, peneirado, foi estocado em contêineres plásticos para posterior utilização.

Os resultados das análises químicas se mostraram compatíveis com os níveis adequados para o uso destes compostos. Além disto, o autor afirma que a utilização deste composto pode ser uma alternativa importante na confecção de substratos para a produção de mudas.

CONCLUSÃO

Os resíduos da arborização urbana estão presentes em todas as cidades e, hoje, fazem parte dos programas de gerenciamento dos resíduos sólidos municipais. As áreas urbanas e urbanizadas no Brasil, lenta ou rapidamente, estão se expandindo, o que faz com que a arborização urbana seja pensada junto com o planejamento das cidades. Entretanto, por melhor que seja o planejamento da arborização urbana, a necessidade de manutenção das árvores, principalmente através da realização de podas, acaba por gerar mais um resíduo sólido para descarte.

No Brasil, os resíduos da arborização urbana normalmente não são tratados como um item reutilizável ou reciclável e a forma mais comum de disposição se refere aos aterros sanitários. Porém, este estudo mostrou que existe um potencial de uso de um recurso renovável que se encontra disponível para utilização. Pode ser usado na forma de composto orgânico, reduzindo ou até substituindo o uso de fertilizantes químicos, ou também como forma de combustível através da conversão energética da biomassa arbórea. Outra forma de uso muito popular, porém fora do Brasil, é a produção de *mulch* para ser utilizado como cobertura de proteção para o solo.

A utilização dos resíduos da arborização urbana, sua valorização, a redução da geração e a disposição correta dos mesmos, devem fazer parte de um projeto de gestão da arborização e também dos Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos elaborados pelos municípios. Estas atitudes podem auxiliar na proteção ao meio ambiente, na criação de oportunidades para a redução dos custos relacionados aos aterros sanitários, de ao transporte e à disposição, e, ainda, potencialmente promover a geração de receitas, tendo a sustentabilidade das cidades como objetivo comum.

Com isso, tem-se um vasto campo para pesquisa e aplicação de novos métodos e técnicas para a redução e o aproveitamento destes resíduos, determinando com maior precisão os custos e os benefícios potenciais para a utilização dos resíduos de arborização urbana.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3ª ed. Brasília. 2008. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf. Acesso em: 4 jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: resíduos sólidos - classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 48p.

BARATTA JUNIOR, A. P. *Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas*. Dissertação Mestrado - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

BIDONE, Francisco Antonio. *Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização*. 2001. Projeto PROSAB, v. 2, 2006.

BIONDI, D.; ALTHAUS, M. *Árvores de rua de Curitiba: cultivo e manejo*. Curitiba: FUPEF, 2005. 179 p.

BONAMETTI, J. H. *A ação do IPPUC na transformação da paisagem urbana de Curitiba a partir da área central*. 2001. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001+.

BRASIL. *Lei nº 12.305 de 2010*. Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 10 maio 2017.

BRASIL. *Resolução Conama Nº 481 de 03 de outubro de 2017*. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>. Acesso em 05 jan. 2018.

CORTEZ, C.L. *Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia: estudo de caso: AES Eletropaulo*. 2011. 246 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-graduação em Energia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ENDAHL, J. B. *Urban Forest Waste Generation and Utilization by Municipal and Private Arboricultural Operations in Virginia*. 2015. 76 f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virgínia, EUA. 2015.

FINGER, C. A. G. *Fundamentos de Biometria Florestal*. Santa Maria, RS: UFSM/CEPEF/ FATEC, 1992. 269p.

GUO, Yiwei et al. *China's tree residue sources and quantity estimation*. *Sustainability*, v. 9, n. 9, p. 1659, 2017. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/9/1659/htm>>. Acesso em 05 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo 2010*. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 mai. 2017.

KIEHL, Edmar José. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. [S.l.: s.n.], Piracicaba, 1998. 171p.

LAPROVITERA, V. O. *Aproveitamento dos resíduos de poda e da remoção de árvores de domínio público da Cidade do Rio de Janeiro*. Monografia (Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

LIMA, A. M. L.P; CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C.; SOUSA, M.A.L.B.; FIALHO, N. DEL PICCHIA, P.C.D. Problemas de utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos. *In: II CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1994, São Luis. Anais...* p. 539-553.

LUZ, S. *Aproveitamento de madeiras de podas da arborização urbana: áreas do traçado inicial de Maringá/PR*. 2012. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

MCKEEVER, D. B.; SKOG, K. E. *Urban tree and woody yard residues: Another wood Resource*. Res. Note FPL-RN-0290. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2003. 6 p.

MEIRA, Ana Maria de. *Gestão de resíduos da arborização urbana*. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MELO, A. J. F. *A raiz do problema – por que morreu dona Berenice? Salvador, Bahia*. 2016. Disponível em: <http://bahia.ba/salvador/a-raiz-do-problema-por-que-morreu-dona-berenice/>. Acesso em: 23 maio 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. *Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada, mais de metade vive em zonas urbanizadas ao que se podem juntar 2,5 mil milhões em 2050*. Disponível em: <http://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>. Acesso em: 10 maio 2017.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. *Arborização Urbana*. Boletim Acadêmico - Série Arborização Urbana. Jaboticabal: UNESP, 2002. (Coleção).

ROSSETI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. I. N.; TAVARES, A. R. As árvores e suas interfaces no ambiente urbano. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana – REVSBAU*, Piracicaba, v.5, n.1, p. 1-24, 2010. SILVA, D. P. *Avaliação do processo de adensamento de resíduos de poda de árvore visando ao aproveitamento energético: o caso do campus da USP na capital*. 2016. 125 f. Tese de doutorado do Instituto de energia e ambiente - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SIRVINSKAS, L.P. *Arborização urbana e meio ambiente – aspectos jurídicos*. Revista do Instituto de Pesquisas e Estudos. p.263-276, 2000.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). *Série Histórica*. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em 05 jan. 2018

SNSA (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2015*. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2015. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2015>. Acesso em 28 jun. 2017.

Tree Care Industry Association, Inc. *Harvesting a. evaluation, removal, recovery – Working Document 5*. 2013. Londonderry, NH. Disponível em: <https://www.na.fs.fed.us/werc/eab/2013/A300Part11urban-forest-products-wd5-clean-2013-01-08.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

VELASCO, G.D.N. *Arborização viária X sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos*. 2003. 94 f. Tese de doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

CAPÍTULO 5

ACREDITAÇÃO HOSPITALAR EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS À SAÚDE

SHEILA FARIA; MARIA APARECIDA STEINHEZ HIPPERT⁵
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

INTRODUÇÃO

Houve época em que o hospital era tido como um lugar seguro para o atendimento às necessidades dos pacientes. Contudo, esta ideia foi se transformando uma vez que os meios de comunicação passaram a noticiar cada vez mais as fragilidades da organização de saúde que, em determinadas circunstâncias podiam representar até mesmo uma ameaça à integridade e à vida do indivíduo. Por isso, a preocupação crescente com os reais e potenciais riscos que os usuários das organizações de saúde podem estar expostos diariamente. O constante aumento da complexidade e do alcance da medicina moderna vem estabelecendo níveis de risco e de dano cada vez maiores aos pacientes (ANTUNES, 2002).

Nesta direção, surge a acreditação. Um processo determinado a melhorar a qualidade, a eficiência e a eficácia da organização de saúde, e que inclui suas estruturas, processos e resultados. Ela é fundamentada no reconhecimento e na adesão aos padrões apoiados em evidências que fornecerão um modelo confiável de serviços de saúde de qualidade, em um ambiente mais seguro. A decorrente diminuição da variação de estruturas e de processos administrativos e clínicos, semelhante à contribuição de diretrizes de prática clínica, é, portanto, um mecanismo extremamente poderoso e determinante para melhorar a qualidade dos cuidados de saúde e, finalmente, seus resultados (ACI, 2014).

As acreditadoras têm exigido das organizações maior eficácia e indicadores que demonstrem seu bom desempenho assistencial. Um dos objetivos claros desse processo é a redução dos fatores de risco notadamente voltados para a aferição da segurança do paciente (BAHJAT, 2011). Ou seja, o propósito subjacente da acreditação está relacionado à obtenção de melhor desempenho das instituições prestadoras de serviços de saúde.

⁵ Email: sheilarquiteta@gmail.com; aparecida.hippert@ufff.edu.br

Por outro lado, administrar uma instituição hospitalar de forma eficiente e sustentável é um dos principais desafios do setor de saúde. A busca permanente pela redução de impactos ambientais por empreendimentos hospitalares deve reconhecer, de forma primeira, a relação entre saúde humana e meio ambiente. Em seguida, através de suas estratégias e operações identificar como conectar as necessidades locais com suas ações ambientais, ou seja, adequar seu desenvolvimento sustentável ao local e às realidades vividas (SAÚDE SEM DANO, 2017).

A partir da evolução do conceito de hospital este capítulo discute o processo e os desafios para a acreditação de um estabelecimento de saúde no Brasil. Apresenta ainda o caso de um hospital de grande porte, que sem interromper seu funcionamento, começou o processo de acreditação já tendo alcançado o primeiro nível.

HOSPITAL E ACREDITAÇÃO

O conceito de hospital está intimamente ligado ao processo de avaliação da qualidade nos serviços de saúde. Com intuito de estabelecer essa relação, é importante discorrer sobre a evolução deste conceito ao longo do tempo.

No final do século XVIII aparecem os primeiros hospitais considerados terapêuticos, cujo objetivo era tratar os doentes. Até então estes ambientes eram destinados a separar os enfermos da sociedade com pouca ou quase nenhuma ação no tratamento ao doente e sim, objetivando minimizar possíveis riscos sociais e epidemiológicos (SANTOS; BURSZTYN, 2004). Com a instituição do exercício hospitalar, observa-se a busca por organização e padronização no sentido de permitir um local de prática médica (CAMPOS, 2008). Acumulam-se estudos, levantamentos de dados e de taxas que possibilitam um diagnóstico dos hospitais existentes. Isso permitiu relacionar e apontar causas e efeitos, o que resultou nos hospitais especializados (SANTOS; BURSZTYN, 2004).

No século XX é apresentado o hospital tecnológico que se ocupava mais da doença (SANTOS, BURSZTYN, 2004). Estabelecem-se, então, métodos e processos terapêuticos nos quais as exigências médicas se concentravam na melhoria de sua prática. Neste instante, visualiza-se, nos Estados Unidos, uma crescente preocupação com a garantia da qualidade nos serviços de saúde a partir da utilização de conceitos da Teoria da Administração Científica associada à gestão, administração e classificação dos hospitais (BONATO, 2003).

A partir destas iniciativas, adotadas pela classe médica, surge o primeiro modelo de acreditação que leva à criação da *Joint Commission Accreditation of Hospitals (JCAH)*, organização responsável pelo processo no país (QUINTO NETO, 2000 *apud* ALÁSTICO, 2013). Este modelo baseava seu método no trinômio “avaliação, educação e consultoria”. Seu pioneirismo se estende, posteriormente, ao Canadá e Austrália, chegando à Europa apenas na década de 1980 (ALÁSTICO, 2013).

As atividades da *Joint Commission* serviram de base a programas de acreditação de outros países. Em 1959, a *Canadian Medical Association* formou a própria organização de acreditação: o

Canadian Council of Hospital Accreditation para acreditar hospitais canadenses (ANTUNES, 2002). Esse modelo de acreditação de serviços de saúde é reconhecido como um dos melhores do mundo, servindo de parâmetros para outros sistemas. O *Canadian Council on Health Services Accreditation* (CCHSA) tem como princípio metodológico a avaliação de pontos fundamentais para a qualidade a saber: estratégia e liderança, cultura organizacional, informação e comunicação, processo em times de trabalho, resultados e segurança dos pacientes. O modelo canadense atraiu o interesse de diversos países como França, Itália, Emirados Árabes, Caribe, entre outros, somando mais de 3.500 localizações internacionais (BONATO, 2011).

É importante ressaltar que um tema recorrente no mundo inteiro é se a acreditação deve ser voluntária ou obrigatória, não obstante a primeira condição ser a mais frequente. Entre todos os modelos encontrados os únicos sistemas compulsórios se encontram na Itália e na França, onde foi criada a Agência Nacional de Acreditação com mais de 400 funcionários públicos, cerca 3.000 especialistas externos e 780 avaliadores, com um orçamento que alcança cifras milionárias (QUINTO NETO, 2013).

Já na Austrália, a acreditação iniciou-se em 1974 com a criação do *Australian Council on Healthcare Standards*. No Reino Unido, teve início em 1989, com o *Organizational Audit Program*, que a partir de 1995 começou a acreditar hospitais. Em 1998, o programa mudou de nome para *Health Quality Service*. Outra instituição britânica, o *Hospital Accreditation Programme*, criado em 1990, acredita hospitais comunitários com menos de cinquenta leitos. Na Espanha, a *Fundación Avedis Donabedian* assinou acordo com a *Joint Commission* em 1996 para estabelecer um programa de acreditação. O objetivo do acordo era facilitar aos hospitais espanhóis serem acreditados de acordo com os padrões e procedimentos utilizados para avaliar as instituições americanas de saúde (BOHIGAS, 2008).

Na década de 1990, frente à crescente demanda que se apresentava, a Organização Mundial da Saúde estabelece a acreditação como elemento estratégico no desenvolvimento da qualidade em saúde na América Latina (FELDMAN; GATTO; CUNHA, 2005).

Na realidade brasileira, importante marco acontece quando é instituída a saúde como direito universal, por meio da Constituição Federal de 1988. O Ministério da Saúde, através da criação do Programa de Garantia e Aprimoramento da Qualidade em Saúde, implementa diversas ações com o objetivo de difundir e promover a cultura da qualidade. Inicialmente, adota-se um sistema de avaliação por número de estrelas, semelhante ao já adotado pelo setor hoteleiro, já apresentando importantes lacunas na avaliação da qualidade (SCHIESARI, 1999).

No início da década de 1990 é publicado o Manual de Acreditação de Hospitais para a América Latina e Caribe, que se configura em importante sinal, quando então diversos países latinos americanos, dentre eles o Brasil, criaram seus próprios programas de acreditação (KLUCK *et al.*, 2008). Nasce então, em 1998, o Manual Brasileiro de Acreditação Hospitalar (– MBAH), considerado importante orientador no processo de avaliação brasileiro e estruturado no binômio

“avaliação – educação”. No ano seguinte, em 1999, surge a Organização Nacional de Acreditação – ONA, organização responsável pela coordenação do processo de avaliação brasileiro e reconhecida formalmente em 2001 como instituição competente para tal (ONA, 2014).

Com o aprimoramento constante do processo, uma nova abordagem de pensamento foi se consolidando, simultaneamente à construção do conceito de hospitais mais humanizados e estruturados na promoção da saúde, com foco na figura do paciente (SANTOS; BURSZTYN, 2004).

Segundo a Associação Brasileira para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar (ABDEH), em pesquisa realizada em 2009, o mercado de construções hospitalares revelou que 90% das obras concentram na reabilitação dos edifícios, enquanto apenas 10% são novas. Ressaltam que estes números se dão, principalmente, em função de constantes inovações tecnológicas que estes tipo de edificações abrigam, o que as levam a contínuas intervenções para não se tornarem obsoletas.

HOSPITAL E PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

Observa-se a crescente implementação de práticas sustentáveis em diferentes dimensões por variados empreendimentos hospitalares pelo mundo. Na Tailândia, o Departamento de Promoção da Saúde, através do programa de hospitais verdes e limpos, fixou uma série de parâmetros referenciais, abordando, entre outros aspectos, a forma de utilização de energia, o consumo de substâncias químicas, o uso dos alimentos e a geração de resíduos. Na Indonésia, os hospitais incorporaram um sistema de classificação de desempenho ambiental. A Inglaterra criou um roteiro de forma a tornar seus hospitais mais ecológicos. Várias corporações globais vêm competindo na construção e na operação de “hospitais verdes” em todo o mundo, assim como iniciativas e conferências vêm promovendo o desempenho ambiental, especificamente do setor da saúde, em diferentes países como Argentina, China, Índia, Filipinas, África do Sul, Suécia e Brasil (SAÚDE SEM DANO, 2017).

Já o hospital Ochsner Health System, localizado em Nova Orleans nos Estados Unidos, faz uso da água do rio Mississippi para substituir suas tradicionais torres de resfriamento para ar condicionado, atitude que levou o empreendimento a ter uma economia anual considerável. Também foram trocadas mais de 60 mil lâmpadas por modelos mais eficientes, diminuindo o consumo em 20%, e diversos motores de sucção e bombas foram substituídas por motores de velocidade variada. Tais ações fizeram com que o consumo energético do hospital fosse reduzido de forma relevante. O Inha University Hospital, na Coreia do Sul, é outro bom exemplo: lá, houve uma redução média de 40% no período de internação de pacientes de ginecologia acomodados em quartos ensolarados (VANZOLINI, 2017).

No Brasil, observam-se hospitais certificados e não certificados, em qualidade ambiental, que vêm buscando adotar medidas que contribuam para seu desenvolvimento sustentável. São elas: cobertura vegetada, iluminação de alta eficiência, fachada ventilada, vidros insulados de alto desempenho, reaproveitamento de águas pluviais e drenos do sistema de ar condicionado,

iluminação natural, áreas verdes abertas à comunidade, calçamentos semipermeáveis, pavimentos externos com alto índice de reflexão solar, irrigação de alta eficiência e tintas e colas à base d'água. Cabe ressaltar que, particularmente no Brasil, os empreendimentos com maior poder econômico estão entre os que têm buscado mais certificações em qualidade que atinjam as mais diversas dimensões do desenvolvimento sustentável, propriamente ditas, uma vez que este processo é caro (VANZOLINI, 2017).

O consumo energético, o desperdício e a geração de resíduos são imagens, facilmente, vinculadas ao ambiente hospitalar. Mediante a isso, destacam-se algumas práticas sustentáveis adotadas de forma crescente por hospitais: planos de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde que compõem uma série de outras ações como construção de abrigo de resíduos, licenciamento ambiental, contratos com empresas especializadas na coleta, transporte e destino final dos resíduos contaminados e comum, utilização de equipamentos de proteção individual por parte dos profissionais que trabalham com resíduos de serviços de saúde e educação ambiental através de reuniões, treinamentos, cursos, etc. Também é possível observar outras práticas que vêm se tornando comuns como aquisição de equipamentos de refrigeração e de materiais sustentáveis, a utilização de lâmpadas com menor consumo energético e a adoção e integração de políticas de sustentabilidade. É importante destacar que várias das práticas adotadas estão inseridas nas legislações que regulam o setor. (SANTOS, 2014).

Importante explicitar alguns dados apresentados pela organização Saúde sem Dano (2017) acerca dos resíduos gerados pelo setor da saúde. A maior parte dos resíduos (75% a 85% aproximadamente) é similar aos resíduos municipais comuns e tem um baixo risco. A segunda categoria em quantidade é a de resíduos infectantes ou biológicos (aproximadamente entre 5% e 25% da totalidade dos resíduos). Tais resíduos podem ser subdivididos em resíduos infectantes gerais, perfurantes e cortantes (1% do total), resíduos altamente infectantes, anatômicos e patológicos (1%). Os resíduos químicos e radioativos (produtos farmacêuticos, substâncias químicas laboratoriais, produtos de limpeza, metais tóxicos como o mercúrio dos termômetros quebrados e os pesticidas que causam diversos impactos à saúde e ao meio ambiente) constituem cerca de 3% do total dos resíduos de saúde. Cabe ressaltar, como aponta ainda a ONA (2014), diferente do que ocorre com muitos outros resíduos perigosos, atualmente não existe nenhuma convenção internacional que trate diretamente da gestão dos resíduos de serviços de saúde, de modo que a sua classificação varia de um país para o outro. Entretanto, o resíduo é usualmente classificado de acordo com o risco que apresenta. No caso brasileiro, existem legislações que normatizam essa questão, o que contribui relevantemente para o meio ambiente.

Ainda no que se refere aos resíduos de serviços de saúde, as águas residuais hospitalares costumam ser desconsideradas, mas também merecem atenção. Os efluentes dos estabelecimentos de saúde contêm maior quantidade de patógenos resistentes a medicamentos, maior variedade de substâncias químicas e maior volume de materiais perigosos do que os efluentes domiciliares, devendo, portanto fazer parte de toda a cadeia de práticas sustentáveis (STRINGER, 2011).

No que diz respeito à ONA e sua relação com práticas sustentáveis, destaca-se a publicação dos relatórios de sustentabilidade, apontado como um marco na relação entre as instituições e seus usuários. O documento inclui a análise do impacto que as organizações prestadoras de serviços de saúde causam no meio ambiente e seu desempenho em aspectos econômicos e sociais. A publicação desses relatórios de sustentabilidade é considerada recente, não existindo uma norma específica para organizações do setor. Contudo, hospitais, clínicas e operadoras de saúde têm adotado o documento como forma de análise de sua gestão, visando o aprimoramento da qualidade e do relacionamento com seus públicos internos e externos de forma mais transparente. Desta forma, as práticas sustentáveis se encontram pulverizadas por todo o manual através de requisitos pré-estabelecidos em suas seções e subseções (ONA, 2015).

ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE ACREDITAÇÃO (ONA)

A ONA é reconhecida formalmente como entidade competente para o desenvolvimento do processo de acreditação hospitalar. É uma instituição privada, sem fins lucrativos e de interesse coletivo criada em 1999 e reconhecida em 2001, pelo Ministério da Saúde. Tem como missão o constante aperfeiçoamento da gestão, da qualidade e da segurança da assistência à saúde, de forma a promover o desenvolvimento do processo de acreditação. Coordena o Sistema Brasileiro de Acreditação (SBA), em que se reúnem estrutura, processos e instituições dos serviços de saúde.

A ONA possui estrutura organizacional fundamentada em conselho e comitês como demonstrado na Figura 1.

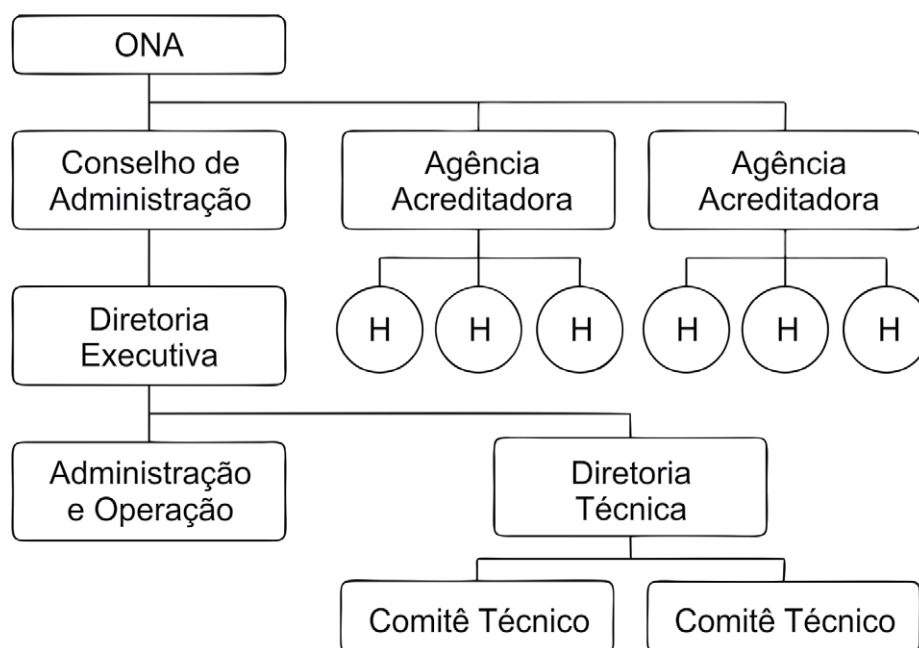


Figura 1 – Estrutura organizacional da ONA.

Fonte: Adaptado do MBAH (2014).

No Conselho de Administração, de forma geral, estão inseridas as entidades membros e fundadoras da organização que são divididas em três grupos basicamente: entidades prestadoras de serviços de saúde, entidades compradoras de serviços de saúde e entidades privadas (MARTELOTTE, 2003).

O Conselho de Administração é representado por suas entidades membros associadas e por representante do Ministério da Saúde que tem por objetivo gerir a organização. Estas entidades representam os diversos segmentos de saúde, com foco na busca das melhores práticas (ONA, 2015).

As agências ou Instituições Acreditoras Credenciadas (IAC) possuem como atribuições avaliar a qualidade das instituições que se voluntariam ao processo, capacitar sua equipe de avaliadores e promover atividades sensibilizadoras quanto a acreditação além de realizar diagnósticos organizacionais. Seu processo tem como objetivo garantir a qualidade da assistência através de padrões mínimos estabelecidos previamente que devem ser atendidos integralmente pela instituição acreditada. Seu processo é pautado no Manual Brasileiro de Acreditação Hospitalar (ONA, 2015).

A Diretoria Executiva é integrada por membros do Conselho de Administração e possui a função única de gerir suas atividades sociais. Sua Diretoria Técnica é responsável pelo desenvolvimento e pela execução de atividades técnicas relacionadas ao SBA como sua reavaliação e atualização. Dentro desta diretoria, encontram-se os comitês técnicos que têm o objetivo de aperfeiçoar continuamente o sistema por meio de análises e de discussões. Por fim, em sua estrutura organizacional, a ONA apresenta a área de Administração e Operação, onde as atividades de operação administrativa e financeira do sistema acontecem (ONA, 2015).

ACREDITAÇÃO HOSPITALAR NO BRASIL

A ONA em parceria com o Ministério da Saúde e entidades de saúde, que se guiam por princípios públicos ordenadores do direito público, elaboraram o Manual Brasileiro de Acreditação Hospitalar (MBAH) que é o instrumento de avaliação específico da qualidade assistencial de saúde (ONA, 2014).

Segundo Bonato (2011), o MBAH surgiu na década de 1990 a partir da criação do Manual de Padrões de Acreditação para a América Latina, estruturado em parâmetros e níveis mínimos a serem atingidos. Este manual de referência foi publicado pela Organização Pan-americana de Saúde (OPAS) e a pela Federação Latino-americana de Hospitais em 1990. Segundo Antunes (2002), o Ministério da Saúde cria, então, um piloto de aplicação e aprimoramento do instrumento a ser adotado pelo programa brasileiro. Finalmente em 1998, foi lançada oficialmente sua primeira edição.

Segundo suas normas e diretrizes orientadoras, este instrumento deve ser avaliado e atualizado periodicamente. Em vigor desde janeiro de 2014, está hoje em sua sétima edição. Possui chancela da ISQua (*The International Society for Quality in Health Care*), sociedade internacional

que atua como certificadora de organizações acreditadoras em diversos países. Essa chancela faz com que sua metodologia e padrões de qualidade sejam reconhecidos internacionalmente (ONA, 2014).

O MBAH é dividido em duas partes e segue roteiro pré-definido: a primeira apresenta o conjunto de princípios e de diretrizes que se caracterizam em etapas do processo de inscrição para avaliação e contratação da instituição acreditadora.

A segunda etapa apresenta o referencial técnico que constitui o instrumento de avaliação formado por cinco seções: Gestão e liderança; Atenção ao paciente cliente; Diagnóstico e terapêutica; Apoio técnico; Abastecimento e apoio logístico. Estas seções, por sua vez, estão distribuídas em subseções que possuem padrões interdependentes e o mesmo grau de importância dentro do processo de avaliação. Os serviços e processos com características similares e que possuem afinidades entre si estão agrupados nestas seções. Já as subseções tratam do escopo de cada serviço e do consequente processo (ONA, 2014).

Os padrões mínimos exigidos estão definidos em três níveis diferenciados, cumulativos e de complexidade crescente, como demonstrado na Tabela 1. O nível superior sempre acumula os requisitos do nível anterior (ONA, 2014).

Tabela 1 – Níveis de acreditação ONA.

Nível	Nível 1 – Acreditado	Nível 2 – Acreditado Pleno	Nível 3 – Acreditado por Excelência
Princípio norteador	Segurança	Segurança e Organização	Segurança, organização e gestão
Foco	Estrutura básica: física e profissional	Organização de processos	Resultados e melhoria contínua

Fonte: Os autores.

- *Nível 1*: considerado o nível básico, abrange o atendimento aos requisitos mínimos de qualidade de toda e qualquer assistência prestada ao cliente. Deve apresentar infraestrutura físico-funcional de forma a permitir condições, sobretudo, estruturais e operacionais adequadas e seguras aos clientes internos e externos, além de garantir recursos humanos devidamente qualificados em harmonia com sua complexidade. Apresenta em seu manual, subseção específica sobre a gestão da estrutura físico-funcional, abrangendo o controle de projetos físicos e de manutenção predial, que está diretamente ligada à RDC nº 50. Esta possui por objetivo estabelecer regulamento técnico destinado ao planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde, a ser observado em todo território nacional, na área pública e privada. É nesta fase que se estabelecem atividades relacionadas ao planejamento e gestão de sua estrutura que vão desde suas instalações

e mobiliários até equipamentos, de forma a criar condições para o gerenciamento da infraestrutura institucional e aprimoramento constante e contínuo com objetivo de atingir melhorias no negócio (ONA, 2014). É neste nível que o trabalho se concentra.

- *Nível 2*: também nomeado por Acreditação Plena, está diretamente relacionado a estruturar a gestão por evidências que devem demonstrar adesão de planejamento na organização da assistência referentes à documentação, ao corpo funcional, ao treinamento, ao controle, as estatísticas básicas para tomada de decisão gerencial e clínica, além da adoção de práticas de auditorias internas. As práticas associadas a estes requisitos preveem elaboração, manutenção e atualizações constantes de mapas de processos, registro na realização de suas rotinas e atividades, uso de indicadores para medição do desempenho de seus processos, realização periódica de análise crítica com foco na melhoria do desempenho de indicadores, dos serviços e na resolução de problemas e, finalmente, definição das temáticas de capacitação do corpo funcional e oportunidades de melhoria com base na análise dos resultados dos indicadores (ONA, 2014).
- *Nível 3*: chamado de Acreditação por Excelência, a instituição avaliada deve apresentar visão sistêmica de suas rotinas apuradas com evidências de melhoria contínua com foco em estrutura, segurança, cultura da inovação, desenvolvimento de pessoas e responsabilidade socioambiental. Institui, com objetividade, compromisso com a excelência através de métodos e práticas mais ordenados, difundidos e inter-relacionados de gestão. Entre estas, revelam-se avaliação de indicadores de desempenho internos com base em referências externas pertinentes (padrões internacionais, hospitais referências, etc.) e planejamento, investimento e aprimoramento regular em termos de estrutura, de tecnologia e de capacitação profissional que resultam em procedimentos mais atualizados e inovadores (ONA, 2014).

O processo é iniciado quando a Instituição manifesta interesse em ser avaliada por uma agência acreditadora, uma vez que a participação é voluntária. Quando o contato é realizado, a agência acreditadora realiza diagnóstico organizacional, sem fins de certificação, por meio da aplicação de metodologia instituída pela ONA, através do MBAH, com objetivo de preparação para visita e avaliação da instituição para aprovação. A avaliação se dá com base na comparação dos padrões estabelecidos como referência nos níveis de certificação segundo o manual com o que é encontrado. Desta forma, é verificado se os critérios indicados como desejáveis foram atingidos ou não. Esta verificação acontece por meio de documentos da instituição, de entrevistas com as chefias de serviço, de usuários e de familiares, prontuários médicos, registros dos usuários e tantos outros registros que a instituição puder apresentar a fim de indicar o cumprimento de determinado padrão (ONA, 2014).

Durante a avaliação, aponta a ONA (2014), podem ser observados, basicamente, quatro tipos de ocorrência: não conformidade maior, não conformidade menor, observação e pontos fortes.

A não conformidade maior pode ser caracterizada por três situações:

- ausência ou incapacidade total da instituição prestadora de serviços de saúde em atender aos critérios padrões do manual como um todo;
- grande número de não conformidades consideradas menores, verificadas ao longo de toda a avaliação em um único item do padrão ou distribuídas de tal forma que afetem a coerência e o funcionamento de todo o sistema de qualidade;
- situação que gere dúvidas significativas quanto à qualidade oferecida, a partir das evidências objetivas disponíveis no ato do processo avaliatório.

A não conformidade menor se verifica na falta de cumprimento aos requisitos do Sistema da Qualidade que o julgamento e a experiência da equipe de avaliadores indiquem que não há quebra deste sistema, bem como uma não adequação ou não implantação de parte de algum critério do manual, resguardando o direito de nova visita para verificação da solução do requisito afetado (ONA,2014).

O item observação é verificado por falha potencial ou localizada, comprovadamente não generalizada e irrelevante sobre a atividade auditada (ONA,2014). Finalmente na avaliação dos pontos fortes, é exposto qualquer fato positivo evidenciado durante a auditoria, aponta a ONA (2014).

Ao final do processo de acreditação, são reunidas em um relatório, informações, observações e evidências que permitirão ou não a certificação da instituição avaliada. O relatório se pauta em quatro eixos como apresentado na Figura 2.

PONTOS FORTES Práticas ou ações de destaque que superam as exigências dos padrões	NÃO CONFORMIDADES Evidências que comprovem o não atendimento aos padrões
OPORTUNIDADES DE MELHORIA Práticas ou ações que estão aquém das exigências dos padrões	CONFORMIDADES Evidências que comprovem atendimento aos padrões

Figura 2 – Relatório de avaliação.

Fonte: adaptado de ONA, 2014.

Após a aprovação do relatório e a emissão de parecer final, o processo é considerado encerrado. Se ocorre parecer favorável à acreditação da instituição, é emitido o certificado que tem validade de dois anos para o nível 1 e 2 e de três anos para o nível 3, ou seja, “Acreditação por Excelência” (ONA, 2014).

Segundo a ONA (2014), o controle para avaliação da manutenção do desempenho obtido se verifica através de avaliação anual simplificada ou, eventualmente, detecção de eventos sentinela. A

avaliação anual simplificada se baseia na análise de documentos e na estrutura da instituição, o que pode, eventualmente, gerar um relatório de não conformidade, por meio do qual serão estabelecidas exigências necessárias para adequação com estabelecimento de prazos, refazendo-se, assim, o ciclo de avaliação documental. Caso as divergências encontradas não sejam solucionadas, a instituição pode ser rebaixada em seu nível de acreditação e, até mesmo perder a certificação.

Em relação ao segundo mecanismo de controle do processo de acreditação, a ONA (2014) aponta a possível detecção de eventos sentinela que se caracterizam por qualquer ocorrência imprevista que possa resultar em dano para os clientes internos e externos da organização, como: elevação da taxa de mortalidade, elevação da taxa de infecção hospitalar, suicídio do usuário, troca de bebês após o nascimento, etc. Tais situações apontam a investigação imediata das causas, o planejamento de ações corretivas e a verificação dos resultados, a fim de evitar ou reduzir o potencial de uma nova ocorrência futura. Tais eventos são considerados, inicialmente, confidenciais e devem ser realizadas medidas corretivas, seguindo o protocolo do manual. Tais situações, ainda, podem gerar a perda da certificação em caso de negligência ou não atendimento protocolar de medidas corretivas e preventivas do evento.

Embora a acreditação hospitalar no Brasil possua caráter voluntário, está em tramitação no Senado o projeto de lei nº 126, de 2012, que torna obrigatória essa prática de avaliação da qualidade, a exemplo do que já acontece em outros países. É uma proposta que faz uma alteração na Lei Orgânica da Saúde nº 8.080, de 1990. Segundo o autor do projeto, a proposta se justifica por ser a avaliação um processo voluntário e depender unicamente da própria instituição interessada. Em abril de 2013, o projeto foi aprovado pela Comissão de Assuntos Sociais do Senado e encaminhado à Câmara dos Deputados em maio de 2013, onde aguarda entrada em pauta (BRASIL, 2018).

O PROCESSO DE ACREDITAÇÃO DE UM HOSPITAL DE GRANDE PORTE

Esta seção apresenta o caso de um hospital de grande porte, localizado em Juiz de Fora (MG), que se mantém em funcionamento, e está em processo de acreditação tendo conseguido o nível 1 da ONA em março de 2014.

Caracterização da instituição

A instituição é privada, de caráter filantrópico e sem fins lucrativos em funcionamento desde 1854 e que passou por uma grande modificação em sua estrutura física na década de 1940. Caracteriza-se como um hospital geral, possuindo ideologia institucional e política de qualidade definidas, além de apresentar operadora de saúde própria. Sua composição administrativa é renovada a cada três anos através de eleição interna e conduzida conforme estatuto próprio. Conta com 1973 colaboradores nas áreas assistenciais, administrativa e de apoio logístico. É classificada

como hospital de ensino pelos ministérios da Educação e da Saúde, mantendo em seu corpo clínico 745 médicos cadastrados e 54 médicos residentes.

O setor de qualidade do hospital se caracteriza como uma gerência subordinada diretamente da Superintendência Geral da instituição. Possui um gerente e dois auxiliares administrativos que prestam auxílio permanente a todos os setores hospitalares. Estes passam, periodicamente, por treinamentos e atualizações, além de possuírem formações profissionais adequadas ao exercício das funções com especializações pertinentes à área.

O Processo e seus desafios

No início dos anos 1990, o hospital contava com o setor de Organizações e Métodos - O&M, caracterizado como importante braço administrativo e responsável pelo mapeamento de processos e de rotinas auxiliado por seus principais indicadores institucionais e estratégicos. Em período subsequente, de 1994 a 2009, a instituição implantou a metodologia 5S. Já em 2009, uma nova diretoria assumiu as funções e surgiram as primeiras ideias em relação a acreditação. Percebe-se que a motivação para implantação do processo de acreditação estava atrelada diretamente ao perfil inovador e estratégico da nova diretoria.

As primeiras ações rumo à certificação se estabeleceram a partir da criação da Comissão de Gerenciamento de Risco e da realização de diagnóstico organizacional por parte de uma instituição acreditadora, contratada pelo hospital com base em indicações apontadas por outros estabelecimentos de assistência à saúde já certificadas e referências no segmento. Em função do trabalho que vinha sendo desenvolvido desde 1994, o diagnóstico se mostrou favorável à busca pela acreditação.

A partir desse momento, a instituição começou a traçar ações estratégicas em direção a certificação. As principais ações se centralizaram na formalização do setor da qualidade e na capacitação da equipe através de cursos internos de gestão da qualidade. Foi efetuado um mapeamento detalhado de processos e rotinas de cada setor a fim de organizar, documentar e registrar os serviços realizados. Isso permitiu a elaboração do escopo do sistema de gestão da qualidade.

Em 2012, uma empresa de consultoria é contratada com o objetivo de capacitar e auxiliar na implementação de mudanças dos métodos gerenciais, fornecendo suporte no projeto de implantação do processo de acreditação ONA nível 1. Meta esta estabelecida pela diretoria do hospital que esperava atingi-la até o ano de 2013.

Foram formados grupos de facilitadores com o objetivo de dar suporte à Gerência de Qualidade e de multiplicar os conceitos e orientações apresentadas pela consultoria contratada. Estes grupos eram formados por pessoas representativas de cada área como enfermeiros, médicos e colaboradores de forma geral. Desta forma, o diagnóstico organizacional começou a ser elaborado. O resultado indicou a necessidade de se vencer algumas dificuldades (Tabela 2).

Tabela 2 – Dificuldades encontradas durante o processo de acreditação.

Principais dificuldades	Infraestrutura da edificação Cultura Organizacional Sistema de comunicação
Outras dificuldades	Perfil dos colaboradores (falta de capacitação para cargos de liderança) Descentralização e frágil rastreabilidade de processos Cultura do imediatismo

Fonte: Os autores.

A primeira dificuldade para a busca da certificação se referia à antiga estrutura física da empresa. A infraestrutura apresentava questões críticas relativas a fluxos e instalações ordinárias e especiais em ambientes considerados fundamentais para o funcionamento da instituição. Alinhar a edificação aos padrões necessários no tempo inicialmente planejado se apresentou como o grande ponto frágil na primeira avaliação da ONA e decisivo para a mudança da data de certificação de 2013 para março de 2014.

Foram realizadas obras de reforma, recuperação e ampliação nos ambientes apontados pelo diagnóstico como críticos ou que necessitavam de melhorias, o que atendeu aos requisitos solicitados.

Outra dificuldade foi relativa à promoção da mudança da cultura organizacional e envolvimento de toda a equipe de colaboradores, incluindo o corpo clínico. A entrevistada ressalta que a mudança da cultura organizacional se revelou como o ponto mais desafiador para o setor da qualidade. Foi necessário demonstrar que o processo era uma ação decorrente de atividades em conjunto, evidenciando a importância da integração da equipe. A errada interpretação de que o gerenciamento da qualidade seria responsabilidade de um setor específico ou de grupo de pessoas é evidenciado na versão atualizada do manual da ONA quando a subseção específica “Gestão da Qualidade” foi extinta. Ela não pode ser vista como algo isolado, aponta a ONA (2015), deve permear todos os processos da organização.

Dessa dificuldade, outra se apresentou: a comunicação, ferramenta importante na promoção da cultura e no entendimento da qualidade. Apontou-se que a acreditação criou rotinas e processos internos que impactaram muito positivamente na imagem da instituição. A partir daí, novos canais na comunicação internas da instituição foram criados como estímulo a cultura na utilização de e-mails e da intranet. Destaca-se que devido à cultura da qualidade, o marketing recebeu mais atenção e investimento. Segundo indicadores setoriais específicos, como favorabilidade da imagem institucional, detectou-se impactos positivos na imagem do hospital no mercado de trabalho.

Em menor escala outras dificuldades surgiram como detecção do elevado índice de colaboradores com pouca ou inadequada capacitação ocupando cargos de liderança, o que refletia diretamente nos processos, que se apresentavam descentralizados e com rastreabilidade pouco

confiável, situação evidenciada por registros e documentos ausentes ou ineficazes ao processo gerenciável. Este contexto acabava por gerar uma forte cultura do imediatismo.

Quanto ao mapeamento das principais mudanças advindas do processo de implantação da ONA é ressaltada a ampliação da segurança assistencial, além da resolução, em grande parte, das dificuldades encontradas. A partir da implementação do processo de acreditação, o hospital destinou expressivo esforço às atividades de capacitação dos colaboradores, buscando motivação e engajamento para a melhoria da qualidade na assistência, o que vai ao encontro do exposto por Martelotte (2003), que destaca a importância do caráter educativo no processo e no valor do seu impacto no desempenho institucional.

No decorrer da busca pela acreditação constatou-se que a instituição já se encontrava alinhada aos padrões da ISO 9001, permitindo que fosse buscada a certificação por este sistema também. Desta forma, no início de 2014, a instituição alcançou a certificação ISO 9001 e ONA nível 1.

Outro ponto levantado diz respeito à vantagem competitiva que a acreditação traz para a empresa. Com a certificação foi possível negociar melhores valores de tabela junto a operadoras de planos de saúde através de estímulos do Ministério da Saúde. Também foi permitido atingir, mais facilmente, metas assistenciais, o que possibilitou o acesso a recursos públicos advindo de programas de fortalecimento e melhoria da qualidade dos hospitais.

A partir da obtenção da acreditação ONA, nível 1 e ISO 9001, a instituição segue buscando o nível de Acreditação por Excelência, por meio de seu planejamento estratégico além de apontar esforços em direção às ISO 14001 até 2018.

CONCLUSÃO

Com o passar do tempo, as condições físicas dos estabelecimentos assistenciais à saúde brasileiros apontaram para a necessidade de reestruturação de suas instalações bem como da segurança e cuidado com seus pacientes e colaboradores. Neste sentido, o Sistema Brasileiro de Acreditação, por meio de suas certificações, surgiu como um instrumento capaz de auxiliar a organização na superação das deficiências de sua gestão de infraestrutura, de materiais e de equipamentos, constituindo medidas práticas de melhoria, que apoiam a excelência e a humanização da saúde no atendimento à população.

O estudo realizado permitiu a identificação das dificuldades e dos desafios enfrentados por uma instituição de saúde na implantação da acreditação ONA nível 1, sob a ótica da sua Gerência da Qualidade. A necessidade de adequação da infraestrutura físico funcional que se apresentava antiga e deficiente, bem como a mudança da cultura organizacional, se revelaram como principais desafios a serem vencidos associados à fragilidade no sistema de comunicação da empresa. Contudo, a própria sistemática empregada ao longo do processo, com a criação de grupos multidisciplinares e

multiplicadores da cultura de qualidade a partir dos desdobramentos dos requisitos mínimos então exigidos, auxiliou na redução das dificuldades citadas.

Observou-se ainda que a sistematização no uso de registros possibilitou maior segurança assistencial, além da criação de um histórico de processos. Ademais disto, obteve-se uma percepção de melhoria no desempenho da instituição embora sua medição seja ainda incipiente e intuitiva.

O estudo de caso complementa o estudo teórico, permitindo uma análise do processo de implantação de Acreditação ONA, restrito ao nível 1. Tal iniciativa contribui para uma maior divulgação do processo de acreditação hospitalar servindo de orientação àqueles outros hospitais que pretendam obter tal certificação.

A consolidação e o fortalecimento do processo de gestão nas instituições de saúde através das creditações significa uma considerável aproximação entre as áreas técnicas e estratégicas destas organizações. As instituições de saúde, sejam quais forem, devem ser entendidas como organizações que necessitam de gerenciamento e de foco no cliente e não apenas como ambientes para promoção, prevenção e assistência aos pacientes.

REFERÊNCIAS

ACCREDITATION CANADA INTERNATIONAL - ACI. *About accreditation*. Disponível em: <<http://www.internationalaccreditation.ca/accreditation.aspx>>. Acesso em: 14 fev. 2018

ALÁSTICO, G. P. *Impactos das práticas da acreditação no desempenho hospitalar: um survey em hospitais do estado de São Paulo*. Tese Doutorado em Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2013.

ANTUNES, F. L. *Implantação do processo de acreditação baseado no manual das organizações prestadores de serviços hospitalares na ONA: um estudo de caso em um hospital de grande porte*. Dissertação mestrado em Engenharia. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DO EDIFÍCIO HOSPITALAR (ABDEH). *O que esperar do Mercado de Arquitetura e Construção Hospitalar*. Notícias. São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.abdeh.org.br/noticias01.php>> Acesso em: 16 out 2017.

BAHJAT, A. *Impact of hospital accreditation on patients' safety and quality indicators*. Thèse de Maîtrise. Ecole de Santé Publique - Université Libre de Bruxelles, France, 2011.

BOAS, G. A. R. V.; COSTA, H. G. Análise comparativa de Prêmios de Excelência em Gestão. In: *VII Encontro Nacional de Excelência em Gestão*, 2011, Rio de Janeiro.

BONATO, V. L. Gestão de qualidade em saúde: melhorando assistência ao cliente. *Mundo da Saúde*, São Paulo: v. 35, n. 5; p. 319-331, 2011.

BONATO, V. L. *Programas de qualidade em hospitais do município de São Paulo*. Tese doutorado em Saúde Pública. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

BOHIGAS, L. *Acreditacion de hospitales y utilización de medicamentos*. Espanha: Carmen Lasasa, 2008.

BRASIL. Congresso. Senado. *Projeto de Lei nº 126, de 2012*. Altera a Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990 (Lei Orgânica da Saúde), para dispor sobre a obrigatoriedade de avaliação, acreditação e certificação da qualidade de hospitais. Brasília, 2012. Disponível em <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/105330>> Acesso em: 16 fev 2018.

CAMPOS, L. I. *Impacto da implantação do sistema de gestão da qualidade em hospitais acreditados com excelência pelo Sistema Brasileiro de Acreditação ONA*. Dissertação Mestrado em Medicina. Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008.

FELDMAN, L. B.; GATTO, M. A. F.; CUNHA, I. C. K. O. História da evolução da qualidade hospitalar: dos padrões a acreditação. *Acta Paulista de Enfermagem*, São Paulo, v. 18, n. 2, São Paulo, 2005. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-2100200500200015>> Acesso em: 01 mai 2017.

GODOY, A. S. Introdução a pesquisa qualidade e suas possibilidades. *Revista de Administração de Empresas*. São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, mar - abr 1995B.

GUTIERREZ, G. C. *Viabilidade de uma arquitetura hospitalar sustentável baseada nas microalgas: Estudo de caso – Propostas para o novo Hospital Universitário*. Dissertação Mestrado em Arquitetura. Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2015.

KLUCK, M.; GUIMARÃES, J. R.; FERREIRA, J.; PROMPT, C. A. A gestão da qualidade hospitalar do Hospital das Clínicas de Porto Alegre: implementação e validação de indicadores. *Revista de Administração em Saúde*, Porto Alegre, v. 10, n. 40, p. 97-102, 2008.

LAGIOIA, U. T.; FILHO, J. R.; FALK, J. A.; LIBONATI, J. J. A gestão por processo gera melhoria da qualidade e redução de custos: O caso da unidade de ortopedia e traumatologia do hospital das clínicas da Universidade Federal de Pernambuco. *Revista Contabilidade & Finanças*, São Paulo, v. 19, n. 48, p. 77-90, 2008.

MARTELOTTE, M. C. *Programa brasileiro de acreditação hospitalar: sua influência no credenciamento de hospitais em operadoras de planos de saúde*. Dissertação de Mestrado em Administração. Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas. Rio de Janeiro, 2003.

NOGUEIRA, L. C. *Gerenciando pela qualidade total na Saúde*. 3. Belo Horizonte. Livro Certo, 2008. p. 134.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Who Regional Office. *How can hospital performance be measured and monitored*. Copenhagen, Ago, 2003. p. 17.

ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE ACREDITAÇÃO (ONA). *Diretrizes do Sistema Brasileiro de Acreditação*. Normas orientadoras. NO 01. Revisão 08. São Paulo, 2015.

ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE ACREDITAÇÃO (ONA). *Novo manual do selo de qualificação*. Notícias, São Paulo, 2015. Disponível em <<https://www.ona.org.br/Noticia/356/Novo-Manual-do-Selo-de-Qualificacao>> Acesso em: 16 out 2017.

ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE ACREDITAÇÃO (ONA). *Manual Brasileiro de Acreditação Hospitalar*. Brasília, 2014.

ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE ACREDITAÇÃO (ONA). *Caderno institucional*. São Paulo, 2014. Disponível em <<http://www.ona.org.br/Pagina/342/Caderno-Institucional>> Acesso em 09 mai 2017.

ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE ACREDITAÇÃO (ONA). *Acreditação dos serviços de saúde – voluntária ou obrigatória*. Notícias, São Paulo, 2013. Disponível em <<http://www.ona.org.br/Noticias/150>> Acesso em: 02 mai 2017.

PATTON, M. G. *Qualitative Research and Evaluation Methods*, 3 ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2002.

QUINTO NETO, A. *Acreditação de Serviços e Operadoras de Saúde: Obrigatória ou Voluntária?* Portal Setor Saúde, Porto Alegre, RS, 2013. Disponível em: <<https://setorsaude.com.br/antonioquinto/2013/04/29/novo-post-acreditacao-de-servicos-e-operadoras-de-saude-obrigatoria-ou-voluntaria/>>. Acesso em 15 fev. 2018.

SANTOS, M.; BURSZTYN, I. *Saúde e Arquitetura: Caminhos para a humanização dos ambientes hospitalares*. Rio de Janeiro: Senac Rio, 2004.

SANTOS, K. M. V. *Práticas ambientais sustentáveis: uma análise dos custos de adoção das ações sustentáveis aplicáveis ao Hospital Universitário Prof. Alberto Antunes (HUPAA)*. Dissertação de Mestrado em Gestão Pública. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2014.

SAÚDE SEM DANO - SSD. *Agenda global para hospitais verdes e saudáveis*. América Latina, 2017. Disponível em <<https://saudesemdano.org/america-latina>>. Acesso em: 14 fev 2018

SCHIESARI, L. M. *Cenário da acreditação hospitalar no Brasil: evolução histórica e referências externas*. Dissertação de Mestrado em Saúde Pública. Universidade São Paulo. São Paulo. 1999.

STRINGER, R. Medical Waste and Human Rights. *Apresentação ao Relator Especial da Comissão de Direitos Humanos das Nações Unidas, Saúde Sem Dano*, 2011.

VANZOLINI, Fundação. Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. *Estudos e Projetos*. São Paulo, 2017. Disponível em <<http://www.vanzolini.org.br/estudos-e-projetos/>>. Acesso em: 15 fev 2018.

CAPÍTULO 6

O CONTROLE DE PROJETO PARA PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS NAS FACHADAS DAS EDIFICAÇÕES

ANA FLÁVIA RAMOS CRUZ; VICENTE ROSSE; MARIA TERESA BARBOSA⁶
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

INTRODUÇÃO

A principal função da habitação é a de abrigo, a fim de proteger das intempéries e dos intrusos. Com a evolução de suas habilidades e inovações tecnológicas, o ser humano passou a desenvolver novos materiais e produtos no intuito de garantir condições favoráveis ao ambiente, pois as habitações devem assegurar a seus usuários segurança e habitabilidade, além de apresentar um desempenho satisfatório quanto à durabilidade (NBR 15.575, ABNT, 2013).

Nesse contexto, os revestimentos de fachada têm grande importância para as edificações. Porém, eles normalmente não recebem os cuidados e operações de manutenção necessários para a garantia de um bom desempenho, resultando no surgimento de manifestações patológicas, associadas a danos e degradação nesses elementos.

No Brasil, o conceito de desempenho na construção é fortemente ligado à habitação. De acordo com Kern *et al.* (2014), entre as décadas de 1950 e 1980, o país atravessou um período de significativo aumento populacional e consequente *deficit* habitacional, o que gerou um crescente número de construções irregulares, principalmente, em regiões periféricas. Esses fatores, somados, levaram a uma maior preocupação política com a habitação de interesse social.

Cumprir destacar que no ano de 2013 foi publicada pela ABNT a NBR 15.575 *Edificações habitacionais – Desempenho*, que estabelece níveis de desempenho mínimo para edificações residenciais considerando as exigências dos consumidores. A “Norma de Desempenho”, como é frequentemente mencionada, estabelece para edificações parâmetros relacionados, entre outros, à durabilidade, manutenção e conforto para os que dela dispõem, dentre outros, estando, portanto,

⁶ E-mail: ana.cruz@engenharia.ufff.br; vicente.rosse@engenharia.ufff.br; teresa.barbosa@engenharia.ufff.br

direcionada à qualidade e à capacidade do produto de resistir às ações de uso e ocupação, sem restringir a comodidade dos usuários.

Apesar da “Norma de Desempenho” proporcionar modernização tecnológica na Construção Civil brasileira e melhoria da qualidade das habitações garantindo maior vida útil e desempenho aos usuários, ainda há necessidade de algumas adaptações para boa aplicação da referida norma. Na fase de projeto, a consideração de requisitos e critérios de desempenho ainda não é uma prática rotineira, tampouco dos métodos de avaliação que comprovem o atendimento das exigências definidas, com exceção daqueles relativos ao desempenho estrutural. (OLIVEIRA; FILHO, 2012).

Segundo Gripp (2008) na garantia de habitabilidade, o revestimento de fachada deve exercer uma ou mais das seguintes funções: estanqueidade, isolamento térmico-acústico e contribuição para a estética da edificação. Sendo assim, diferentes tipos de revestimentos, com uma série de constituintes, tendem a cumprir esses requisitos. Os mais comumente utilizados são rochas ornamentais, produtos cerâmicos e argamassados.

As rochas ornamentais são materiais extraídos da natureza, em formato de blocos ou placas, que podem ser cortadas e beneficiadas e, usualmente, são divididas em dois grupos: os granitos e os mármore. Salienta-se que para revestimento de fachadas observa-se a preponderância do uso dos granitos em relação ao mármore, em função de sua superioridade em relação à durabilidade e à resistência ao desgaste abrasivo (FIGUEIREDO JUNIOR, 2017).

O revestimento cerâmico, muito empregado nas edificações, apresenta vantagens significativas, pois é de fácil limpeza o – que reduz os custos de manutenção –, possui resistência adequada ao fogo, é durável e impermeável, possui isolamento térmico-acústico, dentre outras. (FIGUEIREDO JUNIOR, 2017)

O argamassado, objeto de estudo nesse trabalho, é comumente utilizado nas Edificações Habitacionais de Interesse Social devido ao seu custo-benefício. Trata-se de uma superfície porosa, com uma ou mais camadas superpostas, de espessura uniforme e com a finalidade de receber uma decoração final.

Segundo a NBR 13.529 (ABNT, 2013) a argamassa de revestimento é uma mistura de água, agregados miúdos, e aglomerantes inorgânicos (em geral, utilizado cimento Portland e cal hidratada) que adquire propriedades de aderência e endurecimento.

Salienta-se que um revestimento argamassado com espessura entre 30% a 40% da espessura da parede, pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e 100% da estanqueidade de uma vedação de alvenaria comum (SZLAK *et al.*, 2002).

Nas fachadas com revestimento argamassado, a decoração final é comumente realizada com tintas e sistemas de pintura que possuem a função de servir, além de decoração, como mecanismo de proteção contra agentes deletérios do meio, como água e poluição atmosférica. Assim, espera-se que esse sistema apresente bom desempenho funcional, estético e econômico.

FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS EXTERNOS ARGAMASSADOS

A durabilidade dos revestimentos argamassados está diretamente ligada a seu desempenho e depende, especialmente, dos fatores:

- Proteção dos revestimentos com detalhes arquitetônicos específicos;
- Fatores externos (intempéries, poluição atmosférica, entre outros);
- Natureza da base do revestimento e movimentação de retração de secagem;
- Tipo de revestimento e traço da argamassa (composição e/ou qualidade dos materiais);
- Grau de umedecimento da base (influencia a aderência e o surgimento de eflorescências);
- Método de aplicação, de acordo com a natureza da base;
- Serviços de manutenção periódica. (GRIPP, 2008)

Nesse contexto, as manifestações patológicas nos revestimentos argamassados podem ter causas distintas como, por exemplo, deficiência de projeto, desconhecimento das características dos materiais empregados, erros de execução (por escassez de mão-de-obra, insciência ou não observância de normas técnicas), falta/ deficiência de serviços de manutenção, dentre outros, conforme ilustrado na Tabela 1.

Associado ao revestimento argamassado, é comum a aplicação de um sistema de pintura nas fachadas, que também pode originar diversas ocorrências de manifestações patológicas, como por exemplo:

- Manchamento, que está associado à qualidade da tinta ou à técnica de sua aplicação na superfície.
- Calcinação, que é a formação de finas partículas, semelhantes a um pó esbranquiçado, sobre a superfície da tinta. Está associada à qualidade da tinta ou quando as indicadas para uso interno são utilizadas em ambientes externos.
- Descamação causada pelo desgaste natural do tempo e, também, quando se aplica tinta em superfícies pulverulentas, dificultando a aderência com a base.
- Descolamento, comum em repinturas de superfícies mal preparadas.
- Desbotamento, que é o clareamento prematuro da cor original da tinta e ocorre em superfícies muito expostas ao sol.
- Saponificação, que ocorre quando é aplicado o revestimento de pintura sobre o reboco, sem que este esteja totalmente seco e curado.
- Bolhas oriundas, normalmente, de uma fonte de umidade.

Tabela 1 – Resumo das principais manifestações patológicas em revestimentos argamassados de fachadas

Manifestação patológica	Caracterização	Causas	
Descolamentos	Com pulverulência	Argamassa friável, esfarelada com pressão manual.	Excesso de materiais pulverulentos e/ou torrões de argila no agregado; traço pobre em aglomerantes ou cal em excesso
	Em placas	Ocorre na ligação entre o emboço e base. Argamassa apresenta som cavo ao ser repercutida. Pode ficar endurecida ou quebradiça.	Deficiência na aderência da base (ausência de chapisco); substrato liso, sujo ou contaminado; argamassa rica em aglomerante ou com consistência inadequada
	Por empolamento	Ocorre em camadas com maior proporção de cal. Normalmente o reboco se destaca do emboço, formando bolhas.	Infiltração de umidade; existência de cal parcialmente hidratada na argamassa que, ao se extinguir após aplicação, aumento de volume e se expande.
Eflorescência	Depósitos brancos cristalinos, pulverulentos, normalmente solúveis em água.	Presença de sais solúveis nos materiais ou componentes (tijolos, materiais cerâmicos, cimento Portland, água de amassamento, agregados e materiais provenientes de poluição).	
Por umidade	Acidental	Infiltrações com manchamentos nas paredes.	Falhas nas tubulações presentes em paredes, telhados, pisos e terraços.
	Acidental	Manchas de umidade na base das paredes do pavimento térreo com possíveis descasamentos de revestimento.	Água presente do solo, que ascende por capilaridade à base das construções.
	Por condensação	Manchas de umidade com aspecto irregular.	Produzida por efeito do vapor de água comumente presente em ambientes com pouca ventilação.
	Infiltração	Degradação com descasamento de revestimento.	Causada pela ação da chuva associada a ventos presentes em coberturas, lajes de terraços e paredes.
Por processos biológicos	Presença de microrganismos, como algas, bactérias, fungos e cianobactérias, que formam um biofilme na superfície de materiais.	Os fatores que influenciam no crescimento e desenvolvimento de microrganismos nas construções são umidade, pouca ventilação e condições térmicas.	
Trincas e fissuras	Por movimentações térmicas	Regularmente distribuídas e com aberturas reduzidas (gretagem).	Ocorre devido a variações de temperatura sazonais diárias, podendo ocorrer dilatações e contrações dos revestimentos. É desejável que a capacidade de deformação do revestimento supere a da parede.
	Por movimentação Higroscópica	Presente em regiões de contato com a umidade.	Ocorre pela movimentação de água ou umidade no interior dos materiais. O material, ao ter seus poros preenchidos com água, aumento de volume, e diminui à medida que perde água por evaporação, causando fadiga do material e fissuras.
	Por atuação de sobrecargas	Podem ser horizontais ou verticais, dependendo dos esforços solicitantes.	Causadas por solicitações externas, previstas ou não no projeto, capazes de provocar fissuras em componentes estruturais ou de vedação.
	Por movimentação da fundação	São, normalmente, inclinadas e se direcionam ao ponto onde ocorreu o maior recalque.	Ocorre por movimentos de recalque nas fundações da edificação.
	Por retração de produtos cimentícios	Seu aspecto varia com o tipo de retração.	Causadas pela retração de produtos cimentícios da argamassa podendo ser por secagem química ou por carbonatação. Em geral, quanto maior o fator água cimento, maior será a retração.

Fonte: elaboração própria.

Segundo Oliveira e Filho (2012), em diferentes países, o desenvolvimento dos projetos inicia-se pela definição do desempenho do produto (edificação) e suas partes, para depois serem definidas as tecnologias construtivas a serem utilizadas. No Brasil, entretanto, na maior parte das vezes, essa prática é diferente, principalmente em projetos habitacionais, definindo-se primeiro as questões de arquitetura, de seleção das tecnologias e de custos, para, posteriormente, considerar o atendimento às exigências de desempenho. Porém, com a implantação da NBR 15.575 (ABNT, 2013), este cenário tem passado por mudanças significativas, uma vez que a norma estabelece requisitos e critérios de desempenho, bem como métodos de avaliação para cinco subsistemas de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos (estruturas, pisos, vedações verticais, coberturas e instalações), além de requisitos para o edifício como um todo, bem como reforça a necessidade de ações de manutenção para garantia de desempenho e vida útil de projeto.

O PROJETO DE REVESTIMENTO DE FACHADA

De acordo com Gripp (2008) o emprego de projetos de revestimento de fachadas, embora crescente, é recente. Historicamente, o uso sistemático de projeto de revestimento de fachadas era limitado a um pequeno grupo de construtoras, que priorizavam o desempenho técnico de suas construções.

A principal função da execução de um projeto de revestimento de fachadas é evitar a ocorrência de manifestações patológicas e, do mesmo modo, garantir o desempenho esperado do sistema, bem como ganhos adicionais como, por exemplo, a racionalização da espessura de emboço (GRIPP, 2008). Sendo assim, deve-se:

- Catalogar todos os documentos dos projetos envolvidos na execução da obra, como: desenhos, especificação técnica, memorial descritivo e especificação de materiais priorizando os que interferem diretamente no revestimento externo (projeto estrutural, arquitetônico, de instalações, cobertura, entre outros), ou seja, efetuar a *correlação dos projetos consultados e analisados*;
- O projeto de revestimento deve conter todas as definições geométricas de detalhes construtivos que muito interferem na execução de fachadas (como frisos e juntas, elementos decorativos, pingadeiras, soleiras, peitoris, entre outros), ou seja, deve-se efetuar o *detalhamento construtivo*;
- Devem ser especificados todos os materiais constituintes desse sistema de revestimento. O projetista deve informar, por exemplo, as propriedades das argamassas de chapisco, emboço e reboco, juntas, etc. ou seja, deve-se formular o *memorial de especificação dos materiais*;
- Padronizar os trabalhos nas diferentes etapas de execução do revestimento, por exemplo, controle de recebimento de materiais, definição de rotinas de inspeção dos

lotes das fachadas, definição de controle de qualidade para recebimento dos serviços, dentre outros, assim, deve-se elaborar o *memorial executivo*;

- O procedimento de controle deve conter o período, inspeção, amostragem e procedimento de ensaios utilizados, além de dados de preparo, aplicação e aceitação das camadas executadas, deve-se *definir os procedimentos de controle*;
- E, finalmente, rotinas de manutenção e inspeção devem ser definidas no projeto, por fornecer subsídios para a elaboração do manual de manutenção.

Nesse contexto, compete ao projetista solicitar à administração da obra e aos fornecedores informações técnicas relevantes para execução de um projeto que atenda às expectativas do cliente; elaborar o projeto dentro das diretrizes fixadas pela construtora e pelos projetistas das demais especialidades de projetos e; definir intervalos aceitáveis para os parâmetros especificados em projeto.

A administração da obra deve viabilizar a esse projetista todas as informações técnicas relevantes sobre procedimentos e controles normalmente utilizados pela construtora, além dos projetos necessários (como o estrutural, arquitetônico, de vedações, entre outros).

Cabe também à equipe de obra definir o sistema de produção a ser empregado (produção de argamassa no canteiro ou industrializada, com fornecimento em silos ou sacos, com central de produção ou argamassadeiras nos andares). Além disso, compete à construtora efetuar uma análise crítica do projeto, apontando necessidades de modificações ou adequações no sistema de produção. Os fabricantes e fornecedores de insumos devem conceder informações técnicas acerca do desempenho e características tecnológicas de seus produtos.

EXEMPLO DE ANÁLISE DO MECANISMO DE FALHAS

Galvão e Salgado (1997) apontam que as decisões tomadas nas fases de planejamento e projeto vão influir diretamente na qualidade do ambiente construído, pois são essas as que concentram boa parte das chances de redução da incidência de falhas e dos respectivos custos de manutenção. Para eles, a importância inadequada dada à fase de projeto repercute no aparecimento de falhas patológicas ou anomalias na edificação, que comprometem a durabilidade do produto e geram redução de qualidade e desempenho da obra como um todo.

As fases de um projeto são configuradas, como visto em Angelis *et al.* (1997), como um fluxo de atividades de decisão, que se caracterizam por momentos fundamentais, como: definição de objetivos; geração de hipóteses de solução; eleição da melhor solução e; verificação se a solução escolhida corresponde aos objetivos predeterminados.

Para que seja atingida a melhor solução de projeto, em cada caso, é indispensável a definição de procedimentos de controle de qualidade de seu processo de elaboração, sendo, portanto, necessária para a garantia de qualidade de projeto e, conseqüentemente, para melhoria de desempenho.

De acordo com Angelis *et al.* (1997), em geral, um controle de projeto é um controle de sua conformidade em relação a um quadro predeterminado de objetivos de qualidade. Desse modo, as atividades que configuram as fases de um projeto passam por procedimentos de controle, com possibilidade de retroalimentação do processo, até ser atingida a solução ótima de projeto.

Barbosa *et al.* (2007) aponta que o controle da durabilidade de uma solução de projeto pode ser realizado por uma “análise dos mecanismos de falhas” que pode ser executada concomitantemente com o comportamento dos materiais, através de ensaios diretos e indiretos, podendo ser obtida por:

- Determinação dos elementos técnicos e instalações que constituem o sistema tecnológico do edifício;
- Determinação dos agentes degradantes, aos quais os materiais estão sujeitos;
- Estabelecimento de uma correlação entre as alterações dos materiais e a modificação geométrica e funcional dos elementos e;
- Determinação da gravidade da falha e sua estimativa quantitativa e qualitativamente.

Um exemplo ilustrativo dessa proposta é apresentado na Tabela 2, na temática de patologias de fachadas em revestimentos argamassados, foco deste capítulo. São apresentadas alternativas de prevenção dessas ocorrências de manifestação patológica, a serem consideradas novamente em projeto, após a detecção de falhas.

Tabela 2 – Exemplo de análise de mecanismos de falhas para projeto de fachadas em revestimentos argamassados

Extrato funcional	Causas	Efeitos	Gravidade	Frequência	Observação
Argamassa (Reboco)	Ausência De Chapisco	Descolamento Em Placa	Alta	Média	Especificar A Camada De Chapisco
Argamassa (Emboço)	Alto Fator Água/ Cimento	Fissuras De Retração	Alta	Alta	Ajustar O Traço E Promover A “Cura”
Sistema de pintura	Umidade ascensional	Degradação da pintura na base das paredes	Alta	Média	Especificar sistema de impermeabilização

Fonte: Os autores.

CONCLUSÃO

Os revestimentos externos de fachadas, enfoque deste capítulo, exercem diferentes funções no edifício, garantindo, também, condições de habitabilidade e segurança. Eles funcionam como aliados na garantia das funções a que uma habitação se destina, entre elas, abrigo e proteção para os usuários. Desse modo, os revestimentos externos devem possuir propriedades que garantam a durabilidade, a habitabilidade e a sustentabilidade da edificação.

Decorrente de diferentes fatores externos ou devidos à própria edificação, o revestimento de fachadas está sujeito a uma série de ocorrências de manifestações patológicas, que podem comprometer o desempenho esperado por parte de seus usuários. Assim, a NBR 15.575 (ABNT, 2013), estabelece requisitos e critérios mínimos a serem atendidos por todos os sistemas que compõem a edificação, incluindo os sistemas de vedação vertical (e fachadas).

Foi abordado no texto o tema do projeto de fachadas, que garante o desempenho e as incumbências de cada agente envolvido no processo de elaboração de um bom projeto de fachadas, assegurando a performance esperada pelos usuários e previsto na normalização brasileira.

Por fim, apresentou-se o controle de projeto como instrumento de garantia de durabilidade e desempenho esperado de um produto e falou-se sobre a sua importância na prevenção de manifestações patológicas, por meio da análise de mecanismos de falhas, tendo sido exemplificado o caso de projetos de fachada em revestimento argamassado.

Conclui-se que, embora seja um conceito recente, o projeto de sistemas de fachadas tem se tornado essencial para a boa execução e garantia de desempenho desses sistemas ao longo da vida útil da edificação. Para que o projeto cumpra sua função, é primordial a definição de procedimentos de controle entre suas fases, para que se atinja a melhor solução esperada, evitando, assim, a ocorrência de falhas e perda de desempenho. Constata-se também que não é possível ocorrer melhoria da qualidade do processo se não houver todo o procedimento sistematizado de controle do processo, em especial da etapa de projeto.

REFERÊNCIAS

ANGELIS, E.; POLTI, S.; TISO, A. El control del proyecto como instrumento para la prevención de las patologías de la construcción. *In*: IV Congreso Iberoamericano de Patología das Construções, 1997, Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13529*: revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15.575*: edificações habitacionais – desempenho. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15.575-1*: edificações habitacionais – desempenho Parte 1: Requisitos gerais. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BARBOSA, M. T.; SOUZA, V.; PIRES, V. Controle de projeto como instrumento de prevenção da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado – estudo de caso: Cidade de Praia (Cabo Verde). *In*: II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 2007, Rio de Janeiro.

CARVALHO, M.T.; BAUER, E.; HENRIQUE, E.S.; OLIVEIRA, M.J.; OLIVEIRA, V.C. Os fenômenos de pré-danos nas fachadas dos edifícios: conceituação e aplicação. *In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções*, 2016, Pará.

GALVÃO, J.; SALGADO, M. Contribuição ao estudo do recebimento e aceitação de obras de edificações. *In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções*, 1997, Porto Alegre.

GRIPP, R. S. *A importância do projeto de revestimento de fachada para redução de patologias*. Dissertação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

JÚNIOR, G. J. F. *Patologias em revestimentos de fachadas – diagnóstico, prevenção e causas*. Dissertação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

KERN, A. P. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101, junho, 2014.

OLIVEIRA, L. A.; FILHO, C. V. M. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 90-100, maio, 2012.

SZLAK, B.; TANIGUTI, E.; NAKAKURA, E.; MOTA, E.; BOTTURA, E.; FRIGIERI, E. *Manual de revestimentos de argamassa*. São Paulo: ABCP, 2002.

CAPÍTULO 7

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E SUA CONTRIBUIÇÃO NA PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO

JENIFER PUNGIRUM QUAGLIO; MARIA TERESA BARBOSA⁷
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial no Brasil, há menos de cem anos, a construção civil avançou rapidamente na variabilidade de materiais, incluindo os empregados nos revestimentos das edificações, permitindo a construção de edifícios cada vez mais altos. Neste contexto, torna-se imperioso considerar as dificuldades de combate a incêndio nos andares superiores, mesmo adotando como princípio o anúncio: “no caso de incêndio não use os elevadores, use as escadas”.

Considerando que as edificações atuais podem possuir mais de 20 andares, a forma de amenizar e/ou anular a propagação de sinistros (incêndios) tornaram-se essenciais. Para retardar o tempo de propagação das chamas, a sua intensidade, a quantidade de fumaça e diminuir o nível dos danos, pesquisadores investem no estudo de materiais de construção com menor inflamabilidade, retardamento da propagação das chamas e/ou resistência ao fogo. A escolha de materiais adequados tanto para revestimento quanto na função estrutural em uma edificação, seja ela de apenas um pavimento ou um arranha-céu, influencia na qualidade e intensidade da prevenção e do combate a incêndio.

Os materiais empregados no revestimento das edificações, bem como na infra e superestrutura (como por exemplo, o concreto e o aço), devem garantir a segurança aos moradores antes, durante e após um incêndio. De acordo com Marcelli (2007), quatro entre cinco incêndios ocorridos nas edificações se iniciam por pequenas fontes de calor, fortalecendo a necessidade de uma seleção criteriosa de materiais de acabamento e decoração a serem empregados nesses locais, pois o risco está no emprego de materiais que demandam pouca energia para sua combustão.

⁷ E-mail: jeniferpquaglio@gmail.com; teresa.barbosa@engenharia.uff.br

A quantidade de materiais combustíveis existentes num compartimento tem relação direta com a intensidade que um incêndio pode alcançar nesse mesmo local, sendo, portanto, um importante parâmetro para a definição do risco de incêndio daquele ambiente e, conseqüentemente, dos sistemas de proteção compatível com esse risco. O termo técnico utilizado para definir a quantidade de material combustível denomina-se “carga-incêndio”, sendo esta a soma das energias caloríficas possíveis de serem liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis em um espaço – inclusive os revestimentos das paredes, divisórias, pisos e tetos. Por isso é tão importante e significativa a escolha de materiais que retardem a propagação do fogo.

INCÊNDIO E SUAS ETAPAS

Salienta-se que fogo e incêndio possuem definições linguísticas e químicas idênticas (diferenciando-se somente porque o primeiro ocorre de modo controlado pelo homem e proporciona-lhe benefícios, enquanto o segundo ocorre em condições contrárias e causa prejuízos à humanidade), sendo necessários quatro elementos para a sua formação, a saber: calor, combustível, comburente e reação em cadeia (MARCELLI, 2007).

O incêndio é modelado por meio de curvas de temperatura-tempo, que associam a elevação da temperatura em função do tempo de duração do incêndio, permitindo estimar a máxima temperatura dos gases quentes no ambiente em chamas, conforme ilustrado na Figura 1, onde se verificam três estágios básicos: ignição, aquecimento e resfriamento (SILVA, 2012).

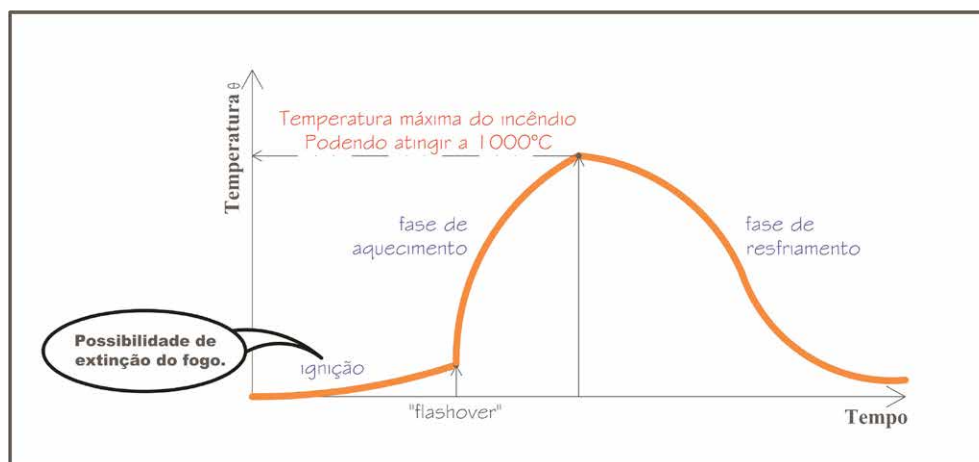


Figura 1 – Estágios principais de um incêndio real

Fonte: adaptado de COSTA; SILVA, 2003

- Ignição: região que representa o início da inflamação ($t = 0$), com o crescimento gradual de temperatura, dando início à combustão com formação de chamas num curto período de tempo, sem risco à vida humana ou ao patrimônio por colapso estrutural

da edificação. Nessa fase as chamas estão concentradas apenas na superfície dos materiais combustíveis e a taxa de combustão é controlada pela natureza dos mesmos. Esse estágio é também conhecido como “pré-*flashover*” (PURKISS, 1996) e termina no instante conhecido por “*flashover*” (instante de inflamação generalizada). Se as medidas de proteção ativa forem eficientes, o fogo é extinto rapidamente.

- **Aquecimento:** região caracterizada por uma mudança súbita de crescimento da temperatura. Nesse estágio, o calor vai se propagando para os demais materiais por radiação e todo o material combustível entra em combustão; a temperatura dos gases quentes é superior a 300 °C, até atingir a máxima temperatura dos gases do ambiente (pondendo chegar a 1000 °C) (WALTON; THOMAS, 1995). Segundo Silva (2001), quando a temperatura atinge 600 °C, há uma inflamação generalizada (*flashover*) em que as chamas se propagam sem controle e chegam a uma situação de irreversibilidade do incêndio.
- **Resfriamento:** região que representa a redução gradativa da temperatura dos gases no ambiente, após a completa extinção do material combustível durante a fase de aquecimento (SILVA, 2001). Deve-se notar que, devido à inércia térmica, a temperatura no elemento estrutural continuará a aumentar por alguns minutos durante o período de resfriamento havendo, portanto, um pequeno “atraso” no início do mesmo (PURKISS, 1996).

Segundo Martin e Peris (1982) as fases de evolução de um incêndio estão relacionadas com a contribuição que os materiais combustíveis geram em função de suas características de reação ao fogo. Ressalta-se, portanto, a importância dos elementos construtivos possuírem resistência à elevadas temperaturas, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Fases de um incêndio e sua relação com os materiais

Fases	Evolução e características dos materiais envolvidos
FASE 1: Ignição	<i>Especificidade:</i> fonte localizada: e calor desenvolvido limitado. <i>Propriedade do material de construção (reação ao fogo):</i> i) incombustibilidade; ii) inflamabilidade
FASE 2: Aquecimento	<i>Especificidade:</i> propagação do incêndio. <i>Propriedade do material de construção (reação ao fogo):</i> i) incombustibilidade; ii) inflamabilidade; iii) propagação de chamas; iv) transmissão de calor; v) resistência ao fogo.
FASE 3: Resfriamento	<i>Especificidade:</i> pânico e vítimas. <i>Propriedade do material de construção (reação ao fogo):</i> resistência ao fogo incluindo as medidas adotadas para extinção e segurança no salvamento de pessoas e bens.

Fonte: adaptado de Martín; Peris, 1982.

Observando um incêndio desde sua primeira fase, nota-se que a reação ao fogo dos materiais empregados nas edificações é a grande protagonista do sinistro. O odor liberado, a fumaça desenvolvida, a solicitação de socorro aos bombeiros, dentre outros fatores, ocorrem em função do comportamento dos materiais. Na fase de desenvolvimento do incêndio (aquecimento), o comportamento e a resistência ao fogo desempenham papéis importantes, devido à propagação das chamas, tanto entre os ambientes da edificação onde ocorre o desastre quando, nas adjacentes, vulneráveis às aberturas da primeira (portas, janelas, *shafts* ou qualquer outra abertura constante nas paredes, tetos e pisos). Na terceira fase do incêndio (resfriamento) a reação ao fogo dos materiais de construção não interfere, pois os materiais combustíveis presentes no ambiente já produziram seus efeitos (MITIDIERI, 2008).

Na prevenção contra incêndio, três formas de classificação são aceitas, a saber: pela natureza dos materiais combustíveis existentes nas áreas a serem protegidas; pela quantidade dos materiais combustíveis existentes nestas áreas e; pela adoção da *carga incêndio* (kcal/m² - quilocaloria por metro quadrado), que resulta da proporção entre poder calorífico de cada material pela área total ocupada, sendo a última adotada internacionalmente (GOMES, 1998).

Nesse contexto, o conhecimento da energia térmica dos materiais empregados nas edificações, principalmente os de revestimento, como nos pisos, paredes e tetos, é de suma importância, principalmente os especificados para saídas de emergência e/ou rotas de fuga.

Na fase de proteção prioriza-se a dilatação térmica, já que a variação de temperaturas de um sólido altera as suas dimensões, visto que o aquecimento resulta em dilatação. Sendo assim, a aplicação desse conhecimento deve ser observada na elaboração do projeto e na construção das edificações, pois os elementos de construção devem possuir tempo mínimo de resistência à exposição ao fogo e garantir a segurança estrutural evitando-se o colapso da edificação, conforme se verifica a seguir:

[...] O aumento da temperatura nos elementos estruturais, em consequência da ação térmica, causa redução da resistência, redução da rigidez e o aparecimento de esforços solicitantes adicionais nas estruturas hiperestáticas. Ação térmica é a ação na estrutura descrita por meio do fluxo de calor, por radiação e por convecção, provocada pela diferença de temperatura entre os gases quentes do ambiente em chamas e os componentes da estrutura [...] (SILVA, 2001. p 273)

Na fase de enfrentamento do incêndio priorizam-se as formas de transmissão de calor: condução, convecção e/ou radiação. Os bombeiros utilizam, normalmente, o resfriamento dos materiais de construção e das paredes da edificação incendiada adjacentes à outras, a fim de confinar o fogo e evitar sua propagação, bem como a retirada de materiais de rápida inflamabilidade, como tapetes, cortinas, almofadas, sofás e afins.

RESISTÊNCIA AO FOGO DA EDIFICAÇÃO PADRONIZADA

A resistência ao fogo é a propriedade de um elemento construtivo de resistir à ação do fogo, mantendo sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento. Geralmente é determinada pelo tempo que o elemento suporta a ação de uma elevação padronizada de temperatura até atingir um limite preestabelecido. Sendo assim, o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) dos elementos construtivos de uma edificação, é um período mínimo prescrito em norma, a qual considera que uma determinada estrutura manterá suas funções de desempenho durante um cenário de incêndio simulado através do emprego de uma curva padrão NBR 14432 (ABNT, 2000). Nesse contexto, para edificações com altura menor ou igual que 6 metros, o TRRF médio é igual a 30 minutos e, acima de 6 metros, 60 minutos. Sendo crescente em função da altura, o TRRF é igual a 120 minutos para edificações com altura superior a 30 metros.

No caso dos sistemas construtivos de vedação horizontal ou vertical (paredes e pisos), são considerados os seguintes critérios definidos pelas Normas NBR 6479 (ABNT, 1992) e NBR 9442 (ABNT, 1986):

1. Estanqueidade: avalia se as chamas e os gases quentes desenvolvidos no interior do ambiente em combustão são liberados por aberturas no elemento construtivo, podendo expor pessoas e objetos que se encontram na face exposta ao fogo aos efeitos do incêndio;
2. Isolamento térmico: avalia se o calor transmitido por radiação e condução através da superfície do elemento construtivo pode ameaçar a segurança das pessoas e dos objetos que se encontram na face exposta ao fogo aos efeitos do incêndio;
3. Estabilidade: avalia se o elemento ou sistema construtivo não perde seu caráter funcional (seja este portante ou simplesmente de vedação), ou seja, não apresenta ruína durante o tempo de ensaio.

Os métodos de ensaio adotados para avaliar a qualidade do material em situação de incêndio determinam basicamente as propriedades (SOUZA, 2007):

1. Incombustibilidade: verifica quais materiais não contribuirão no crescimento e na propagação do incêndio, ou seja, aqueles que produzem uma quantidade reduzida de calor ou que não se ignizam quando submetidos a temperaturas de até 750 °C;
2. Índice de propagação superficial de chama: determina fatores de evolução do calor e de propagação de chama (velocidade) do material de construção;
3. Desenvolvimento do calor: determina o potencial máximo de calor de um material quando ele se queima por completo;
4. Densidade óptica de fumaça, ou seja, a oferecida pela fumaça.

Nesse contexto os materiais são classificados segundo a sua combustibilidade em *materiais não combustíveis* (incombustíveis) que, quando submetidos a combustão, não apresentam

rachaduras, deformações excessivas, etc. (por exemplo o tijolo, aço, alumínio, vidro, compósitos de cimento); *materiais semicombustíveis*, que são os que possuem baixa taxa de queima e pouco desenvolvimento de fumaça ou gases quando submetido a combustão (por exemplo, painéis de gesso, revestimentos metálicos) e os *fogo retardante*, que como a madeira e o plástico, sofrem tratamento químico para melhorar suas propriedades de reação ao fogo (SOUZA, 2007).

No que se refere à edificação, será denominada como *resistente ao fogo* aquela em que suas principais partes (paredes, pisos, lajes, vigas, pilares, telhados e escadas) são construídas com materiais resistentes ao fogo, além de possuir portas e vedações do tipo corta fogo em áreas suscetíveis à passagem das chamas, e *semiresistente ao fogo* a que possuir um desempenho inferior ao anterior.

Para toxicidade já que diversos estudos apontam para o efeito maléfico da inalação de gases tóxicos pelos usuários. (GANN *et al.*, 1994).

No caso do concreto, reconhecido pela sua boa resistência a altas temperaturas, resultando de suas propriedades térmicas (por exemplo, incombustibilidade e a baixa condutibilidade térmica), não há riscos de toxidade ao ser aquecido (BRITZ, 2011). Entretanto, suas propriedades são alteradas quando exposto ao calor, podendo comprometer cerca 25% da sua resistência mecânica quando aquecido a 300 °C e aproximadamente 75% a 600 °C, conforme se verifica nas Figuras 2 e 3.

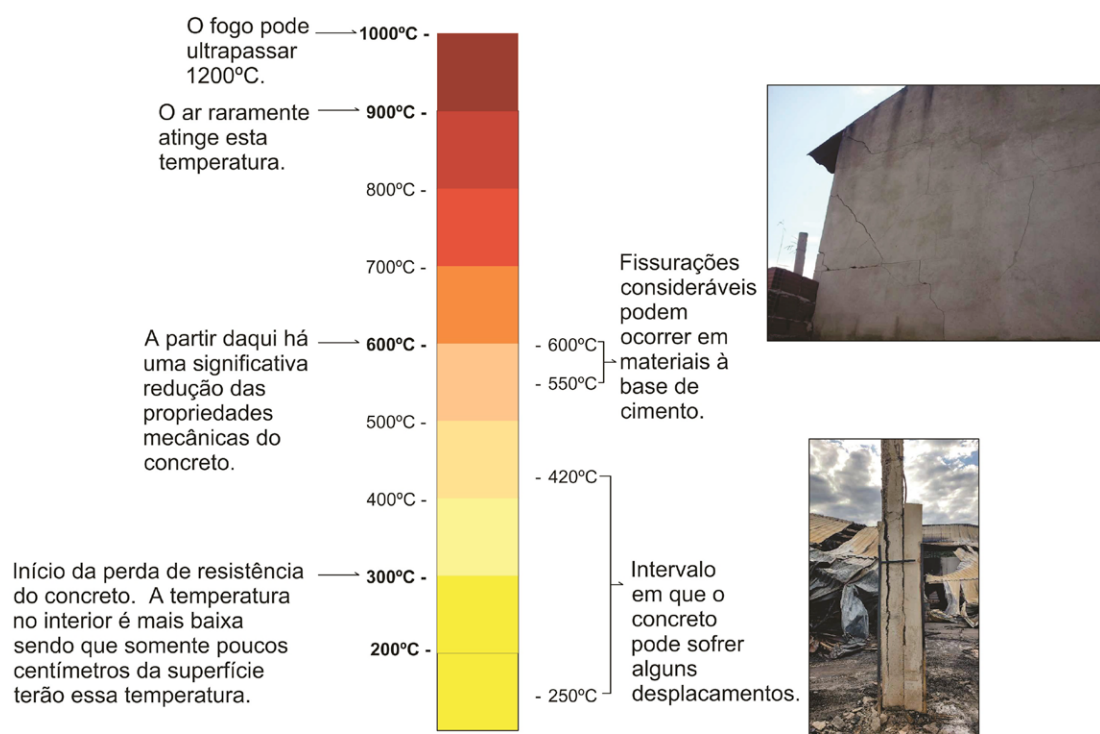


Figura 2 – Influência do aumento da temperatura nas propriedades do concreto

Fonte: adaptado de Britz, 2011

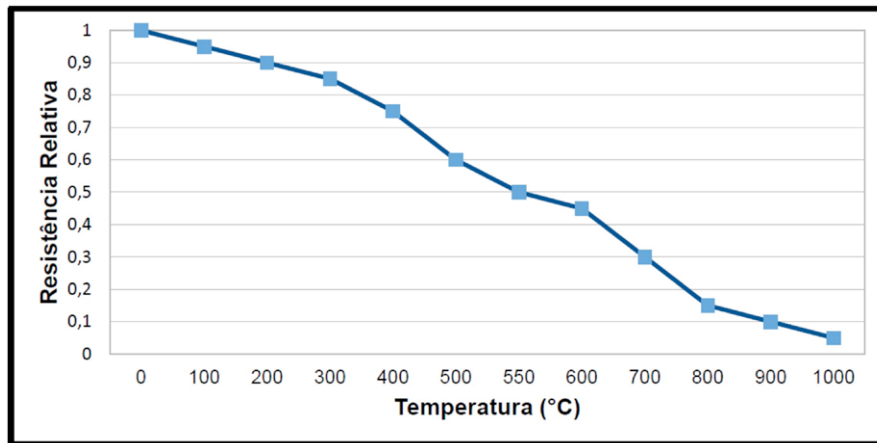


Figura 3 – Variação da resistência do concreto em função da temperatura

Fonte: adaptado de Silva, 2012.

O aço é mais vulnerável ao fogo do que o concreto, pois a uma temperatura igual a 600°C, perde praticamente mais da metade de sua resistência, sendo esse nível de temperatura fácil de ser atingido na maioria dos sinistros de incêndio, chegando em alguns casos a 1100°C onde, nessas condições, o aço tem uma perda considerável na sua capacidade de resistir a esforços mecânicos, conforme mostra a Figura 4 (MARCELLI, 2007).

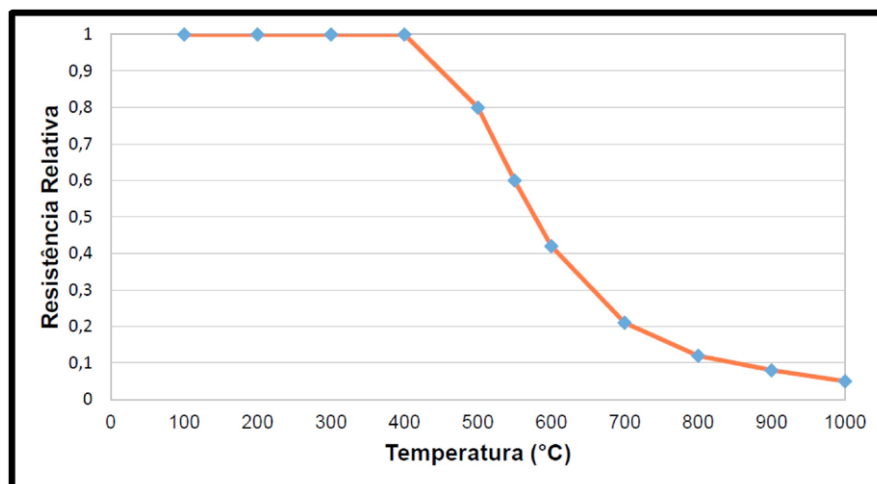


Figura 4 - Variação da resistência do aço em função da temperatura

Fonte: adaptado de Silva, 2012.

A madeira, embora seja um material combustível, possui uma resistência constante em função da temperatura. O grau de combustibilidade influencia, principalmente, pela relação superfície x massa, o tipo de madeira, o grau de umidade, a elevação da temperatura e proporção de área em contato com o ar. A condutibilidade térmica e o coeficiente de dilatação são muito baixos na madeira, o que lhe confere boas qualidades (LUZ NETO, 1995).

A madeira não tratada, sob condições suficientes de oxigênio, arde espontaneamente em temperaturas da ordem de 275 °C. Superficialmente ocorre a combustão, formando no início uma cortiça dura e meio calcinada, perdendo nesta camada as características físico-mecânicas, porém, que impede a liberação de gases de fácil inflamação. Mantida esta temperatura, o fogo interrompe quando a espessura da madeira calcinada atinge 10 mm. O aumento da temperatura exterior acima dos 275 °C permite que a madeira continue a queimar e, em certos casos, alimenta o incêndio. A madeira, portanto, não tem comportamento adequado. As peças com mais de 25 mm oferecem menores riscos se não houver grande possibilidade de correntes violentas de ar na ativação do incêndio (LUZ NETO, 1995).

ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Segundo a NBR 14.432 (ABNT, 2000) há dois tipos de proteção para as edificações: a *ativa* que é acionada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, sendo composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio, e a *passiva* que controla a carga de incêndio e possui importância significativa na etapa de projeto onde se insere a especificação dos materiais a serem empregados nas edificações, conforme ilustrado na Tabela 2.

Nesse contexto, destaca-se que a escolha dos materiais e produtos a serem empregados nas edificações deve levar em conta a sua contribuição na facilidade de ignição e no crescimento inicial do incêndio, sendo necessário considerar as diferentes partes que compõe uma edificação e a finalidade do emprego como: acabamento e revestimento de piso, teto e forro, paredes e coberturas. A utilização de materiais retardantes do fogo em qualquer pavimento, permite uma maior e mais segura evacuação do local.

A fim de evitar o colapso em situação de incêndio, pode-se dimensionar a estrutura para resistir à temperatura elevada por mais tempo ou utilizar de elementos de revestimento com baixa condutividade térmica (como medida de proteção passiva). No Brasil, os materiais mais utilizados para a ação são: argamassas projetadas, mantas, painéis de materiais fibrosos, placas de gesso acartonado e argamassa de vermiculita.

Tabela 2 – Exemplos de proteções ativas e passivas

Proteção ativa	Proteção passiva
<ul style="list-style-type: none"> -extintores -hidrantes -chuveiros automáticos (<i>sprinklers</i>) -sistemas de iluminação de emergência -alarme, entre outros. 	<ul style="list-style-type: none"> -acessibilidade ao lote (afastamentos) e ao edifício (janelas e outras aberturas) -rotas de fuga (corredores, passagens e escadas) -Compartimentação, entre outros.

Fonte: adaptado de Costa *et al.*, 2005.

Muito utilizada como proteção dos elementos estruturais e também de revestimento, está a tinta intumescente, que quando exposta à ação do fogo direta ou indiretamente reage a partir de 200 °C, iniciando um processo de expansão volumétrica e formando um filme isolante com espessura de até 60 vezes maior que a sua espessura original, promovendo a inibição da ação do fogo sobre o material protegido, garantindo a segurança humana e minimizando perdas materiais. No Brasil, essa técnica ainda é pouco utilizada devido ao alto custo de aquisição e deficiência na qualificação profissional para execução do serviço de pintura, pois o produto demanda maior tempo para aplicação. Quanto à sustentabilidade, as tintas intumescentes à base de água são mais indicadas do que aquelas à base de solventes, já que possuem uma reduzida quantidade de COV (Compostos Orgânicos Voláteis) capazes de facilitar a propagação das chamas.

CONCLUSÃO

Após vários incêndios de grandes proporções, como no Edifício Andraus (32 andares) e o Joelma (25 andares) em São Paulo, e recentemente na torre Grenfell (24 andares) em Londres, percebe-se que o sistema de prevenção e combate a incêndio vai muito além de extintores, hidrantes, *sprinklers*, etc. Os sinistros tomaram tamanha proporção que o foco agora não é mais o combate ao incêndio, mas sim uma forma da sua não propagação. A fim de retardar o tempo de alastramento das chamas, a intensidade, a quantidade de fumaça e o nível alto de estragos, pesquisadores investem no estudo de materiais com menor inflamabilidade, retardamento da propagação e resistência ao fogo.

Salienta-se que a quantidade de materiais combustíveis existentes num determinado local tem relação direta com a intensidade de um incêndio, logo torna-se necessário que os projetistas exijam uma maior variabilidade de materiais incombustíveis e que as devidas providências já sejam tomadas durante a fase de projeto.

Na garantia de proteções passivas eficientes, é imprescindível que os fabricantes invistam em produtos incombustíveis e forneçam as informações necessárias acerca do poder calorífico para que se possa estimar o que se pode denominar “carga incêndio permanente ou fixa” do edifício projetado, priorizando aqueles que possuam índices menores ou nulos e/ou prevendo outros sistemas de proteção que reforcem o projeto de segurança contra incêndio como um todo, já que são imprescindíveis para o cálculo do tempo requerido de referência ao fogo.

Na escolha dos materiais incombustíveis adequados, deve-se ter principal atenção quanto à resistência e toxidade dos mesmos perante o fogo. No caso do concreto, do aço e da madeira, quando estes exercem função estrutural, após a ocorrência do sinistro há necessidade de levantamento de subsídios que assegurem o seu bom desempenho. Para tanto é necessário que sejam feitos testes, análises e observações criteriosas, que são efetuados por profissionais habilitados. A porcentagem de perda da resistência deve ser mensurada a fim de resguardar a segurança da edificação e da vida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6479: portas e vedadores - determinação da resistência ao fogo, Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento, Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9442 - materiais de construção - determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - método de ensaio, Rio de Janeiro, 1986.

BRITEZ, C. *Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, sub-metidos a elevadas temperaturas*. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/571). EPUSP, 2011. 17p.

COSTA, C. N.; STUCCHI, F. R.; SILVA, V. P. Estruturas de concreto em situação de incêndio. *Revista Técnica*, São Paulo, ano 13, ed. 99, p. 56-61, jun. 2005.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio: métodos tabulares apresentados em normas internacionais. *In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO*, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP.

GANN, R. *et al.* Fire Conditions for Smoke Toxicity Measurements. *Fire Materials, London*, v. 18, n. 3, p. 193-199, 1994.

GOMES, A. *Sistemas de Prevenção Contra Incêndios*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

LUZ NETO, M. A. *Condições de Segurança Contra Incêndio*. Brasília: Ministério da Saúde, 1995.

MARCELLI, M. *Sinistros na Construção Civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras*. 1. ed. São Paulo: Editora PINI, 2007.

MARTÍN, L.M.E.; PERIS, J.J.F. *Comportamiento al fuego de materiales y estructuras*. Madrid: Laboratorio de Experiencias e Investigaciones del Fuego, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1982.

MITIDIERI, M. L. *Proposta de classificação de materiais e componentes construtivos com relação ao comportamento frente ao fogo: reação ao fogo/M.L.* São Paulo: EPUSP, 1998.

PURKISS, J. A. *Fire safety engineering: design of structures*. Oxford; design of structures. Oxford; Boston: Butterworth-Heinemann, 1996. 342 p.

SILVA, V. P. *Estruturas de aço em situação de incêndio*. São Paulo: Zigate, 2001.

SILVA, V. P. *Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200:2012*. São Paulo: Edgard Blücher, 2012. 237 p.

SOUZA, W P. *Reação ao fogo dos materiais: uma avaliação dos métodos de projeto de saídas de emergência em edificações não industriais – Minas Gerais*. 135 p. Dissertação Engenharia de Materiais da REDEMAT, Ouro Preto, 2007.

WALTON, W. D; THOMAS, P. H. Section3/Chapter 6: Estimating temperatures in compartment fires. *In: DINENNO, P. J.; BEYLER, C. L.; CUSTER, R. L. P.; WALTON, W. D. (Ed). Handbook of Fire Protection Engineering*. 2. ed. Quincy: NFPA, 1995.

CAPÍTULO 8

VIABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS RESIDENCIAIS

GUSTAVO BREGA QUINET ANDRADE; MARIA APARECIDA STEINHEZ HIPPERT⁸
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

INTRODUÇÃO

A euforia vivida pelo mercado imobiliário nos últimos anos gerou um aumento da oferta em relação à demanda. Aliado à estagnação econômica em que se encontra o país, o mercado da construção civil brasileira se encontra em momento de depressão econômica. Segundo o FIPECAFI (2015), o setor da construção civil é responsável por mais de 6% do PIB nacional, além de empregar diretamente mais de três milhões de pessoas. Devido à forte correlação que a indústria da construção possui com a economia brasileira, aquela se torna grande afetada com a crise econômica do país.

Segundo Loturco (2015), entre as quinhentas maiores empresas do país, vinte e três são de construção sendo que apenas três conseguiram crescer no último ano. No caso das incorporadoras de capital aberto, elas diminuíram 68% dos lançamentos em 2015, quando comparado ao mesmo período do ano anterior. Das treze incorporadoras de capital aberto na bolsa de valores, seis ainda não lançaram nenhum empreendimento no mercado até a metade de 2015. A rentabilidade do setor caiu cerca de 9% de 2013 para 2014.

Diante desse panorama em que as vendas de imóveis foram reduzidas, a concorrência aumentada bem como as incertezas nas áreas econômicas e políticas, a realização de estudos de viabilidade, com a consideração dos vários fatores atuantes no processo de construção, se fazem necessários a fim de se diminuir os riscos inerentes ao investimento a ser realizado.

Um dos fatores a ser considerado diz respeito à sustentabilidade. Isto porque o setor da construção civil é responsável por cerca de sessenta por cento dos resíduos sólidos lançados nos centros urbanos brasileiros (ABRELPE, 2006), além de consumir mais de oitenta por cento da energia elétrica do país (ANEEL, 2015). Os consumidores atentos à estas questões começam a buscar por edificações com a chancela da sustentabilidade.

Neste sentido cabe também considerar a publicação no Brasil, da sua norma de desempenho, a NBR 15.575. Esta norma visa atender a uma série de necessidades dos clientes. Ela está dividida

⁸ E-mail: gustavo.quinet@engenharia.ufff.br; aparecida.hippert@ufff.edu.br

em seis partes: requisitos gerais, requisitos para os sistemas estruturais, requisitos para os sistemas de piso, requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, requisitos para os sistemas de coberturas e, requisitos para os sistemas hidrossanitários. Todas os requisitos das partes acima descritas devem ser cumpridos, ao menos em seu nível inferior. Para o atendimento a estas exigências, os custos na construção podem ser alterados, acarretando em incertezas na viabilidade do empreendimento.

No que tange à sustentabilidade, a NBR15.575 torna obrigatório o cumprimento de vários itens presentes nos mais conhecidos selos verdes para a construção civil. Segundo Menezes (2015), dos quatorze principais itens de uma construção, da perspectiva do usuário, em doze, a norma e as certificações coincidem.

Por outro lado, em um mercado onde a concorrência é cada vez mais acirrada, a atualização profissional na busca por novos conhecimentos se faz necessária. A maneira empírica em que a viabilidade era realizada anos atrás deve mudar e passar a ser formalizada e planejada acompanhando a evolução dos empreendimentos. A tendência é que os novos empreendimentos se preocupem cada vez mais com as práticas sustentáveis, com os custos de manutenção, com a durabilidade e a eficiência energética, dentre outras.

Dessa forma, este trabalho se mostra relevante, dado a grande importância dos estudos de viabilidade na tomada de decisão ao se planejar um empreendimento imobiliário. Além disso, o conhecimento, restrito a poucos especialistas, é formalizado, estruturado e disponibilizado.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um roteiro para a realização de um estudo de viabilidade de um empreendimento imobiliário residencial, utilizando-se de técnicas e conceitos de engenharia econômica.

EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS

Empreendimentos imobiliários são aqueles inseridos no setor da construção civil, em operações de produção de bens, tendo por objetivo sua venda ou outro tipo de transação comercial, como por exemplo, o aluguel (LIMA JUNIOR, 1993).

A realização de estudos de viabilidade é necessária para que os investidores possam comparar o retorno financeiro esperado em um investimento na construção civil com outros investimentos disponíveis, levando em conta tempo, risco e liquidez, para, desta forma, balizarem a sua tomada de decisão.

Atualmente, porém, o discurso de preço, prazo e qualidade de muitos construtores e incorporadores para atrair novos clientes está sendo alterado. Muitos consumidores já questionam não só o preço de venda, mas também os custos de manutenção e operação, consumo de energia e eventuais reparos não previstos. Ou seja, a consideração de questões relacionadas às práticas sustentáveis começa a se fazer presente.

Além disto, empreendimentos imobiliários novos devem atender à Norma de Desempenho, sendo que ela possui grande preocupação com a sustentabilidade das construções, principalmente no aspecto ambiental. Isto porque quanto maior a durabilidade, menor os gastos com matérias primas, com energia, com manutenções e poluentes gerados (CBIC, 2013).

De forma esquemática o empreendimento pode ser entendido como composto das seguintes etapas (Figura 1).

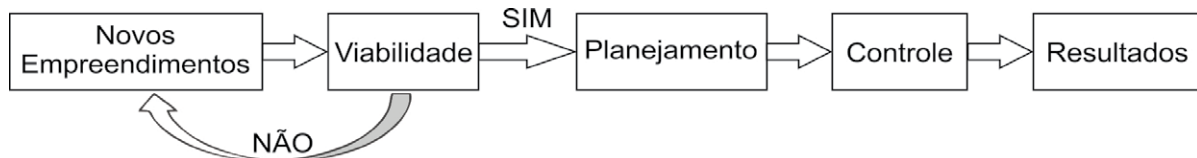


Figura 1 – Etapas de um empreendimento.

Fonte: Os autores.

VIABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS

Com o intuito de avaliar com precisão adequada os possíveis resultados e expectativas de determinado projeto, surgiram os estudos de viabilidade. Sua complexidade se deve ao envolvimento de inúmeras variáveis associadas ao mercado da construção e financeiro, questões comerciais, jurídicas, influências na sociedade e de qualquer outra parte interessada. Eles são realizados quando se deseja investir em novos empreendimentos e auxiliam à tomada de decisão (GOLDMAN, 2015).

Além da viabilidade inicial de um empreendimento, é de grande importância sua análise como um todo, não somente na construção, mas também durante o uso. Um empreendimento viável deve ser e ter componentes duráveis, que atendam a vida útil prevista em projeto, consumir poucos recursos naturais, ter alta eficiência energética e ser de fácil manutenção.

Os estudos de viabilidade são comumente divididos em três partes, que se completam e são realizadas seguindo uma ordem, começando pela técnica, seguida pela econômica e por último, a financeira.

A *Viabilidade Técnica* é o estudo da viabilidade em relação aos quesitos legais. Nesta parte é analisado o Código de Obras, Lei de Uso e Parcelamento dos Solos, e quaisquer outras leis e normas exigidas pelo município. É de extrema importância para o conhecimento do tipo de construção a ser feito no terreno em avaliação (RAHME, 2014).

As leis dão força obrigatória às Normas Técnicas e, portanto, precisam ser cumpridas respeitando-se o Código Civil, o Código de Defesa do Consumidor, o Código de Obras, etc. Desta forma, a norma brasileira de desempenho precisa ser considerada. Ela define requisitos a serem atendidos pelos sistemas componentes da edificação, independente do material que os constitui, para atender as necessidades de desempenho da habitação.

A *Viabilidade Econômica* é o estudo das receitas e das despesas do empreendimento. Consiste na análise dos recursos financeiros que compõem o fluxo de caixa. O objetivo é sempre de se ter o maior retorno possível, com o menor investimento necessário, no menor prazo e com os menores riscos inerentes ao projeto (SILVA, 1995).

Da mesma forma que comentado anteriormente, a consideração da norma de desempenho pode impactar os custos do empreendimento que precisam ser adequadamente considerados.

Por fim, a *Viabilidade Financeira* é a análise do fluxo de caixa, como na viabilidade econômica, porém levando em conta o fator tempo. Segundo Gonçalves & Corrêa (2015), para saber se um empreendimento é viável ou não financeiramente é necessário comparar seus resultados à aplicações financeiras atuais e analisar o retorno do investimento.

Roteiro para elaboração de um estudo de viabilidade

Salgado (2002) sugere um roteiro para a realização de estudos de viabilidade para a incorporação imobiliária considerando as seguintes etapas: pesquisa de mercado, terreno, anteprojeto, custos, análise de viabilidade imobiliária. Outra possível abordagem para o início do estudo de viabilidade é apresentada por Greer & Kolbe (2003). Segundo os autores, a viabilidade de empreendimentos imobiliários pode também ter início com um terreno predeterminado e, a partir do mesmo, busca-se a melhor alternativa de negócio a ser empreendido. As características físicas e legais do terreno, além da sua localização com referência ao desenvolvimento econômico são o ponto de partida para a análise. Para estes autores as etapas de um estudo de viabilidade são: terreno, pesquisa de mercado, anteprojeto, custos, análise de viabilidade imobiliária.

- *Terreno:* A partir da existência de um terreno deve-se analisar a matéria-prima do negócio. Dessa forma, devem ser considerados: o ponto, a legislação edilícia vigente, os estudos e os projetos aprovados, a vocação do bairro, o estudo de produto *versus* a demanda do mercado, a infraestrutura urbana, a vizinhança e os serviços instalados.
- *Pesquisa de mercado:* Na sequência deve-se partir para a pesquisa de mercado. Esta etapa se faz necessária para conhecer os desejos e carências do mercado e poder-se definir o produto ideal, assim como estimar os valores de venda. Uma forma corrente, normalmente utilizada para a realização desta pesquisa diz respeito à realização de entrevistas com corretores de imóveis, moradores da região, construtores e incorporadores. Para Gonçalves & Correa (2015), alguns pontos devem ser considerados e são necessárias respostas quanto a: natureza do empreendimento, tipologia e padrão de acabamento.
- *Projeto:* Na próxima fase, deve-se elaborar o projeto mais adequado, levando em conta materiais que sejam duráveis, que gastem menos energia e que atendam as expectativas relacionadas à vida útil de projeto. O produto estabelecido deve contribuir

de forma positiva com o ambiente no qual será inserido, evitando consumo de água e energia em excesso, não prejudicando o bairro com aumento exagerado de tráfego de veículos causando congestionamentos, destinando água pluvial para reuso e esgoto para tratamento.

O tipo de produto a ser considerado deve seguir leis e normas do município, obedecendo ao zoneamento no qual o terreno se encontra. A partir daí, pode ser conhecida a tipologia da região, isto é, se podem ser construídas lojas, salas, indústrias, residências ou outros tipos de construção.

Outros enfoques a serem estudados são a altura e área máxima a ser construída e os recuos exigidos pela Lei de Uso dos Solos da cidade. Devem ser analisados o coeficiente máximo de aproveitamento, a largura da rua e dos passeios e recuos necessários.

Como o projeto não é detalhado nesta etapa, é comum o uso de referências para a definição do padrão de construção. Segundo a ABNT NBR 12.721:2006, os projetos padrão são caracterizados quanto ao acabamento como baixo, normal e alto, correspondendo a diferentes projetos arquitetônicos. A referida Norma apresenta as especificações dos acabamentos orçados nos projetos padrão residenciais, comerciais, galpão industrial e residência popular. Para exemplificar, portas de alto padrão são de madeira maciça, enquanto, no padrão normal, são de madeira compensada e, no padrão baixo, são semi-oca. Já os padrões intermediários, considerado como médio-alto, por exemplo, unem elementos dos padrões alto e médio.

Tendo em vista os materiais utilizados na composição do padrão alto, estima-se que o mesmo considere em sua composição o atendimento aos requisitos da NBR 15.575. Para os demais padrões construtivos, não é possível avaliar se os mesmos atendem aos requisitos de desempenho da norma. Neste caso, deve-se analisar os custos de projetos similares para uma avaliação mais precisa quanto ao atendimento aos requisitos de desempenho da NBR 15.575.

- *Levantamento de custos:* Para o levantamento dos custos, inicialmente, deve-se verificar as formas de aquisição do terreno. No mercado, normalmente, são encontradas duas: a compra e a permuta. A compra é a opção mais simples. A permuta é muito usada quando se refere à negócios imobiliários. Pode ocorrer de duas formas distintas: pela troca de um ou mais bens, ou através da troca de bens acompanhada de um pagamento adicional em dinheiro, ao qual se é dado o nome de torna. Nesta opção, o permutante (dono do terreno) se torna parceiro do negócio, dividindo com o incorporador os riscos do empreendimento. Além disso, não é necessário despende de um grande valor logo no início para aquisição desta matéria-prima. O pagamento ao permutante é feito em unidades do empreendimento.

Para a análise dos custos de construção, faz-se necessária a identificação dos regimes de construção existentes: por empreitada ou por administração. Nas incorporações em

regime de empreitada, o Contratado executará a obra do Contratante. O construtor se responsabiliza técnica e administrativamente pela obra em todos os seus aspectos. O contratante, por sua vez, realiza medições dos serviços executados, conferindo o andamento e procedendo aos acertos financeiros relativos ao que foi executado.

Nas incorporações em que a construção é realizada por administração, também conhecida por preço de custo, a responsabilidade do pagamento integral da obra é dos proprietários (BRASIL, 1964). O Contratado executará a obra do Contratante pelo valor real necessário na construção e terá remuneração relativa ao serviço prestado, segundo um percentual, a taxa de administração. A responsabilidade por toda direção técnica e administrativa da obra é da parte do Contratado. Além disso, faz-se necessário dispor de uma margem adequada de 1% para investimento em marketing e propaganda, como sugere Balarine (1997). Com o custo do terreno conhecido, os custos de construção já levantados, despesas extras como marketing e corretagem identificadas e preço de venda estimado, tem-se os dados fundamentais para a elaboração de uma análise de viabilidade imobiliária.

- *Estudo de viabilidade:* A análise de viabilidade imobiliária consiste na união do estudo estático, que aborda questões como projeto, áreas, custos de construção, custos de comercialização e custos do terreno, com o estudo dinâmico que, por sua vez, utiliza o fator juros, a relação entre o capital e o tempo.

Com o resultado da subtração de todas as receitas pelas despesas geradas, tem-se o resultado da viabilidade econômica. A partir daí, um fluxo de caixa mensal com a previsão de gastos e receitas deve ser elaborado, aplicando-se ao final taxas como, por exemplo, TIR e Payback para atestar a viabilidade financeira do empreendimento.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A fim de exemplificar a aplicação do roteiro anteriormente apresentado, são descritas nesta seção, as etapas realizadas para uma situação real. O terreno escolhido está localizado na cidade de Juiz de Fora/MG, no bairro Jardim Glória, possuindo 370 m² de área com 15 metros de frente do terreno.

Pesquisa de mercado: Partindo do terreno existente, foi realizada a pesquisa de mercado. Para isto, foram realizadas visitas ao local, pesquisa em imóveis ao redor, identificação de pontos de interesse próximos e entrevistas com corretores de imóveis. Isto permitiu assumir o valor de venda das unidades em R\$5.000,00/m².

Na sequência, foi consultado um engenheiro com experiência no ramo de construção e foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

- Natureza do produto: edificação residencial multifamiliar;
- Tipologia: apartamento tipo com 2 quartos e 1 vaga de garagem; cobertura com 3 quartos e 2 vagas de garagem;
- Padrão de acabamento: médio-alto.

Projeto: Nesta etapa, foram realizadas pesquisas em documentos e entrevista com arquiteto com experiência na elaboração de projeto para este tipo de edificação.

Segundo informações do Cartório de Registro de Imóveis e do IPTU, o terreno está localizado em uma rua cujo coeficiente de aproveitamento é de 2,4. Sendo a área máxima privativa calculada como o produto da área do terreno pelo coeficiente de aproveitamento, chega-se a 888 m².

Seguindo a Lei de Uso dos Solos da cidade a altura máxima a ser construída não pode ser maior que o dobro do somatório da largura dos dois passeios, da rua e do afastamento, ou seja, 22 metros. Considerando cada andar a ser construído com altura de 3 metros, percebe-se que não podem ser construídos mais do que 7 andares quando utilizado 1 metro de afastamento. Porém, mantidos os 7 andares, a área de cada apartamento seria muito pequena e, assim, optou-se por construir 6 pavimentos com 148 m² de área por pavimento.

A área de cada apartamento então poderia ser calculada como (1):

$$A_{\text{apto}} = \frac{A_{\text{pavimento}} - A_{\text{Hall entrada, escada incêndio, elevador}}}{Nr_{\text{apto/andar}}} + 10\% (\text{varandase armários}) \quad (1)$$

Segundo dos dados obtidos, junto ao arquiteto entrevistado, a área do hall do pavimento pode ser estimada em 30m² e; a área do hall de entrada, em 40m², o que resulta em 65 m² para a área privativa de cada apartamento.

Portanto, o empreendimento será composto de 6 pavimentos habitáveis, cada um com 2 apartamentos, ambos de frente para a rua, de área aproximada de 65m², possuindo 2 quartos, sendo um deles suíte, um banheiro social, sala, cozinha, varanda e vaga na garagem. Os apartamentos cobertura, serão duplex, possuindo além do descrito uma suíte no andar superior.

Levantamento de custos: Nesta etapa, foram ainda entrevistados o proprietário do terreno bem como o corretor da região. Para o levantamento de custos, são considerados os custos de aquisição do terreno, custos de construção e despesas extras. A partir das entrevistas realizadas foram estabelecidas as seguintes premissas: taxa da administração da obra de 12%; tempo estimado de construção de 24 meses, incluindo projetos, construção e legalização, conforme padrão no mercado; velocidades de venda nos possíveis cenários: otimista (5% do Valor Geral de Venda - VGV por mês), realista (2,5% do VGV por mês) e pessimista (2% do VGV por mês); valor das despesas de vendas: 2,5% do valor dos apartamentos permutados menos a comissão do corretor do terreno (5% do valor dos apartamentos vendidos) menos a comissão dos corretores dos apartamentos.

Quanto à aquisição do terreno, de acordo com entrevista com corretor e com o proprietário do terreno, o mesmo tem a intenção de realizar permuta no local sem torna, recebendo um apartamento tipo a cada seis construídos. No caso, dois apartamentos tipos com prioridade na escolha das unidades.

Quanto à construção, o empreendimento será vendido a preço fechado em que o comprador paga o valor estipulado e o incorporador lhe entrega o apartamento pronto. O incorporador, por sua vez, contrata uma empresa construtora, pagando uma taxa de administração referente à construção. Estimando-se as áreas de apartamentos, garagens, etc. chega-se a uma área total construída de 1.401 m² (os valores detalhados podem ser vistos em Andrade, 2015).

Para a estimativa do custo de construção, pode-se usar o Custo Unitário Básico - CUB ou o Custo Unitário Pini de Edificações - CUPE (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2015). O primeiro, no mês de junho de 2015, foi de R\$1.402,56/m², para um apartamento de 8 andares, de padrão de acabamento médio-alto, enquanto o segundo, foi de R\$1.278,63/m² para a construção de um prédio com elevador e padrão médio-alto em Minas Gerais. A fim de respaldar o investidor na tomada de decisão, adotou-se o maior custo por m². Considerando-se a taxa de administração, tem-se o custo global da edificação, R\$ 2.200.784,95. Importante ressaltar que para custos unitários por metro quadrado de empreendimentos que atendam a Norma de Desempenho, o ideal é que eles sejam feitos a partir de projetos similares.

Na sequência, deve-se decompor a estimativa inicial levando em conta o percentual de cada etapa da obra no custo total, com o objetivo de identificar os custos por etapa da obra para que possam ser elaborados os fluxos de caixa do empreendimento.

Estudo de viabilidade: O passo seguinte é o cálculo das receitas do empreendimento (Tabela 1), resultando no VGV.

Tabela 1 – Gastos preliminares

Item	Valor em porcentagem do VGV
Projeto	1,5% do VGV
Aprovações	0,4% do VGV
Outras despesas	1% do VGV

Fonte: Os autores.

A partir do VGV pode-se complementar os demais custos. Conforme informações obtidas junto com o construtor podem ser considerados os seguintes percentuais (Tabela 2):

Tabela 2 – Cálculo do VGV

Descrição	Quantidade
Número de Unidades Tipo Vendáveis (excluindo-se permutados)	8
Número de Unidades Cobertura Vendáveis	2
Valor de Venda dos Apartamentos Tipo	R\$ 325.000,00
Valor de Venda dos Apartamentos Cobertura	R\$ 487.500,00

Fonte: Os autores.

As despesas de venda (2), ainda segundo o construtor, seriam as despesas de venda dos apartamentos (5%), do terreno (2,5%) e relativas ao marketing (1%):

$$\text{Despesas vendas} = (5\% \text{venda aptos} + 2,5\% \text{venda terreno} + 1\% \text{venda aptos}) \quad (2)$$

A Tabela 3 reúne os dados obtidos.

Tabela 3 – Resumo dos custos

Item	Custo (R\$)
Terreno	
Edificações + administração da obra	2.200.784,95
Projetos	53.625,00
Aprovações	14.300,00
Outras despesas	35.750,00
Despesas de vendas	212.875,00
Total	2.517.334,95

Fonte: Os autores.

Somam-se a estes custos os impostos incidentes sobre o VGV, conforme Mattos (2014), (Tabela 4)

Tabela 4 – Valores incidentes sobre VGV

Item	% do VGV	Valor (R\$)
PIS	0,65	23.237,50
Cofins	3	107.250,00
ISS	3	107.250,00
Total	-	237.737,50

Fonte: Os autores.

Com os dados obtidos, chega-se ao estudo estático (3), que revela o lucro final do empreendimento (Tabela 5).

$$\text{Lucro final} = (\text{VGV} - \text{valores incidentes VGV}) - \text{Despesas totais (3)}$$

Tabela 5 – Lucro final estático

Descrição	Cálculo do lucro
Lucro Final do Empreendimento	R\$ 819.927,55
Custo Final do m ² construído	R\$ 1.796,81
Lucro sobre Investimento	133%

Fonte: Os autores.

Como o resultado é favorável, pois apresenta lucro sobre o investimento, parte-se para o estudo do modelo dinâmico. O primeiro passo é a elaboração do fluxo de caixa de acordo com o período de tempo segundo os cenários definidos.

Com os fluxos elaborados, segue-se para a obtenção dos índices que auxiliarão na tomada de decisão, no caso: VPL, TIR e Payback. Para o cálculo do VPL e da TIR, foi utilizada a planilha eletrônica do MS Excel, que, em sua versão 2013, possui esses indicadores como fórmulas básicas. Já para o cálculo do Payback, calcula-se o tempo em que se tem lucro zero, ou seja, as receitas e as despesas são iguais e o investimento se paga.

Como o VPL exige uma taxa de juros atrelada, foram escolhidos cinco valores para essa taxa considerando os cenários otimista, realista e pessimista. Estas possíveis taxas foram escolhidas pois a taxa de atratividade varia de acordo com o perfil e objetivo de cada investidor (Tabela 6).

Tabela 6 – Cenário para VPL

Taxa de Juros	Otimista (R\$)	Realista (R\$)	Pessimista (R\$)
1%	892.873,46	613.187,32	486.263,27
2%	760.171,22	318.644,47	135.623,17
3%	652.616,80	125.330,04	- 75.649,83
4%	564.896,10	476,02	- 198.695,89
5%	492.871,51	- 78.106,01	- 265.924,61

Fonte: Os autores.

A TIR foi calculada no MS Excel, enquanto, o Payback foi calculado manualmente. Os resultados encontrados para os cenários considerados estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Cenário para TIR e PayBack

Indicador	Otimista	Realista	Pessimista
Tempo	24 meses	44 meses	54 meses
TIR	52%	4%	3%
Payback	19 meses	33 meses	40 meses

Fonte: Os autores.

Para a análise final, deve-se comparar os resultados com os que poderiam ser alcançados quando os recursos fossem aplicados em investimentos no mercado financeiro de baixo risco. Foi escolhido o Tesouro Prefixado 2018 (LTN), por ser prefixado e por possuir data de vencimento aproximado ao tempo de construção do empreendimento em questão.

A rentabilidade deste título é de 15,73% ao ano. Descontada a incidência do Imposto de Renda (TESOURO NACIONAL, 2015), a rentabilidade líquida do investimento é de: 13,37% ao ano, ou seja, 1,0512 ao mês, segundo a fórmula (4) (ROSS, 2013):

$$\text{Taxa de juros mensal} = ((1 + \text{taxa de juros anua})^{1/12}) - 1 \quad (4)$$

Como o empreendimento imobiliário é um investimento de maior risco, estipulou-se a taxa mínima de atratividade de 2% ao mês. Ao analisar o pior cenário, o pessimista, com o VPL de 2%, observa-se que o resultado é superior a zero, portanto, o investimento atinge o objetivo mínimo de atratividade.

CONCLUSÃO

O trabalho atende ao objetivo de apresentar um roteiro para a realização de um estudo de viabilidade de um empreendimento imobiliário. Para isso, foram abordados conceitos relevantes ao tema e técnicas de engenharia econômica que possibilitaram sua execução.

O desenvolvimento foi feito a partir de uma revisão bibliográfica e por um estudo de caso, em que partiu-se de um terreno localizado na cidade de Juiz de Fora para averiguar a viabilidade do empreendimento.

O resultado obtido foi comparado com possíveis investimentos no mercado financeiro com baixo risco. Desta forma, chegou-se à conclusão de que o empreendimento é viável, pois atinge um retorno financeiro maior do que a aplicação em questão.

Vale destacar que a taxa mínima de atratividade pode variar de acordo com o perfil do investidor, e esta será determinante na decisão de empreender. Ao analisar o cenário otimista, percebe-se que o investidor consegue obter mais do que 5% de retorno ao mês, o que é considerado um resultado excelente. Já no cenário realista, se o desejado é obter retorno de até 4% ao mês, o investimento é válido. No cenário pessimista, se o investidor desejar ter mais de 3% ao mês de retorno o investimento não se mostra favorável.

Desta forma, o trabalho visa contribuir para que incorporadores, construtores e investidores que desejam empreender no mercado imobiliário, tenham um roteiro que os auxilie nos caminhos a serem seguidos para atingir o objetivo final, isto é, realizar o estudo da viabilidade do empreendimento.

O roteiro proposto deve ser utilizado para auxiliar o empreendedor na sua tomada de decisão. Com a entrada em vigor da norma de desempenho brasileira, além do terreno, o entorno, o projeto e os custos de construção precisam ser analisados de maneira a compor um padrão de construção que atenda ao equilíbrio entre preço e qualidade. Desta forma, o projeto deve visar a sustentabilidade, utilizando soluções que favoreçam o melhor desempenho da edificação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Relatório... São Paulo, 2006.

ANDRADE, G.B.Q. *Estudo de viabilidade de empreendimentos imobiliários residenciais*. Trabalho Final de Curso em Engenharia Civil – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2015.

ANEEL. *Atlas Consumo*. 2015. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf. Acesso em: 16 fev. 2018.

BALARINE, O. F. O. *Contribuições Metodológicas ao Estudo de Viabilidade Econômico-Financeira das Incorporações Imobiliárias*. Paraná: Engep, 1997.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 4.591, de 16 de dezembro de 1964. Diário oficial da República

CBIC. *Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013*. Câmara Brasileira da Indústria da Construção, Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CONSTRUÇÃO MERCADO. São Paulo: Pini, nº 168, de julho de 2015.

FIPECAFI, Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras. São Paulo, 2015.

GOLDMAN, P. *Viabilidade Técnica de Empreendimentos Imobiliários: modelagem técnica, orçamento e riscos de incorporação*. São Paulo: Pini, 2015

GONÇALVES, M.; CORRÊA, P. *Viabilidade de Empreendimentos e incorporações Imobiliárias*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2015

GREER, G. E.; KOLBE, P. T. *Investment Analysis for Real Estate Decision*. USA: Dearbon Real Estate Education, 2003. 489 p.

JUIZ DE FORA (Município). Lei 6910, de 31 de Maio de 1986. Dispõe sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo do Município, e dá outras providências. *Diário Oficial do Município de Juiz de Fora*. Juiz de Fora, MG,... maio. 1986.

LIMA Jr, J. R. *Análise de Investimentos: Princípios e Técnicas para Empreendimento do Setor da Construção Civil*. São Paulo: EPUSP, 1993. (Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/06, 50p.)

LOTURCO, R. O lucro das maiores empresas brasileiras encolheu. E agora? EXAME, 2015. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/revistaexame/edicoes/109202/noticias/o-lucro-escolheu-e-agora>. Acesso em: 21 set. 2015.

MATTOS, A. D. *Como Preparar Orçamento de Obras*. 2. ed. São Paulo: PINI, 2014.

MENEZES, M. Palestra em: *Greenbuilding Brasil*. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/sustentabilidade-aliada-norma-de-desempenho/>. Acesso em: 7 fev. 2018.

RAHME, J. *Curso de Incorporação de Edifícios*. Belo Horizonte, 2014. Notas de Aula

ROSS, S. *Fundamentos de Administração Financeira*. Porto Alegre: MC Graw Hill, 2013.

SALGADO, V. M. *Lançamento de Empreendimento Imobiliário*. São Paulo: CAIXA, 2002. Disponível em: <http://incorporacaoimobiliaria.com/2008/10/27/%E2%80%9Cclancamento-de-um-empreendimento-imobiliario-%E2%80%93-qual-o-elhormomento%E2%80%9D/>. Acesso em: 28 ago. 2015.

SILVA, M. B. *Planejamento Financeiro para o Setor da Construção Civil*. Texto Técnico 11. São Paulo: EPUSP, 1995. (TT/PCC/11).

TESOURO NACIONAL. *Rentabilidade dos Títulos Públicos*. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto-precos-e-taxas-dos-titulos>. Acesso em: 20 out. 2015.

CAPÍTULO 9

MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO

PARA DESENVOLVIMENTO DE

EDIFICAÇÕES MAIS SUSTENTÁVEIS

LUÍS BRAGANÇA; RICARDO MATEUS⁹
UNIVERSIDADE DO MINHO

INTRODUÇÃO

Desde que a industrialização em larga escala teve início, a atividade humana, orientada para o lucro, levou a uma crescente degradação do meio ambiente. Atualmente, dado ser impossível ignorar a gravidade real deste problema e sendo que o espectro das suas consequências futuras surge em toda sua extensão, várias ações têm vindo a ser realizadas para adaptar os princípios de sustentabilidade aos setores mais problemáticos da atividade humana. Um desses setores é o setor de construção, que incorpora tanto a produção, transporte, uso e reposição de materiais de construção, como as consequências resultantes da própria utilização do edifício (consumo de energia para iluminação, ventilação, aquecimento e arrefecimento, consumo de água, etc.), a sua reutilização e/ou dos seus materiais, demolição e a deposição de resíduos. A energia consumida durante a fase de utilização dos edifícios serve como indicador do contributo do setor para o agravamento ambiental causado pela atividade humana. Na Europa, o setor de construção é responsável pelo consumo de cerca de 40% da energia primária. Apesar de este valor ser elevado, ele apenas considera a energia consumida durante a fase de utilização do edifício, ignorando o consumo associado a outros processos, também ligados à construção, como o fabrico e o transporte dos materiais de construção e as atividades de construção em estaleiro.

Devido à crescente consciencialização das consequências que o modelo de desenvolvimento atual tem para as alterações climáticas e à gradual mobilização internacional para os edifícios de alto desempenho/sustentáveis, cada vez mais o paradigma da construção está a mudar. Isto leva a que também a natureza do ambiente construído se altere, bem como a forma de projetar e construir um edifício (BRAGANÇA, 2014). Esta nova abordagem é diferente da prática atual em diferentes níveis. Num projeto sustentável, os membros da equipa são selecionados com base na sua experiência em construção eco-eficiente e sustentável, há um aumento da colaboração entre os membros da equipa

⁹ E-mail: braganca@civil.uminho.pt; ricardomateus@civil.uminho.pt

e as outras partes interessadas, existe um maior foco no desempenho global de construção do que na construção de sistemas; é dada ênfase à proteção ambiental em todo o ciclo de vida de um edifício; há uma consideração cuidadosa da saúde e segurança dos trabalhadores e da saúde e conforto dos utilizadores do edifício; existe um escrutínio de todas as decisões devido às suas implicações nos recursos e ciclo de vida; é considerado o comissionamento e; é dada ênfase à redução da produção de resíduos de construção e demolição (KIBERT, 2005).

Embora existam várias definições para um edifício sustentável, de uma forma geral este utiliza recursos como energia, água, terra, e materiais de uma forma muito mais eficiente do que os edifícios convencionais. Estes edifícios são também concebidos e utilizados de forma a promoverem ambientes interiores mais saudáveis e produtivos, utilizando, por exemplo, a iluminação natural e a melhoria da qualidade do ambiente interior (SYPHERS *et al.*, 2003). Assim, a construção sustentável visa o equilíbrio adequado entre as três dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiente, sociedade e economia.

A avaliação da sustentabilidade de edifícios envolve várias relações entre os sistemas construídos, natural e sociais. Desta forma, envolve centenas de parâmetros, cuja maioria está interrelacionada, podendo também ser parcialmente contraditórios. Para lidar com esta complexidade e apoiar o projeto de edifícios sustentáveis é necessário implementar uma abordagem sistematizada. O principal objetivo desta abordagem é definir o conceito de construção sustentável através de objetivos tangíveis para que, como resultado do processo de desenho sustentável, seja possível alcançar o equilíbrio adequado entre as diferentes dimensões de sustentabilidade (MATEUS *et al.*, 2008).

O desenvolvimento de métodos de avaliação e das respetivas ferramentas é um desafio tanto para as instituições de investigação, quanto para o mercado. Uma das questões de maior relevância é a gestão dos fluxos de informação e conhecimento entre os vários níveis de sistemas de indicadores. Uma limitação importante a estes métodos é a de que a definição dos termos “construção sustentável” ou “construção de alto desempenho” é complexa, uma vez que diferentes atores no ciclo de vida da construção têm diferentes interesses e requisitos (COLE, 1998). Por exemplo, os promotores prestam mais atenção às questões económicas, enquanto que os utilizadores finais estão mais interessados nas questões de saúde e conforto (HAAPIO *et al.*, 2008).

Durante as últimas duas décadas, um número significativo de ferramentas de avaliação do desempenho ambiental e da sustentabilidade de edifícios têm vindo a ser desenvolvidos. A primeira ferramenta a estar comercialmente disponível foi o BREEAM (*Building Research Establishment Assessment Method*). Este método foi desenvolvido no Reino Unido em 1990 e, juntamente com outros dois sistemas de classificação e certificação – o SBTool (*Sustainable Building Tool*), desenvolvido através do trabalho colaborativo de representantes de 20 países; e o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), desenvolvido nos EUA –, fornece a base para as outras abordagens utilizadas em todo o mundo. Em geral, estes métodos se caracterizam pela avaliação de uma série de

características parciais da construção e agregação destes resultados numa avaliação ambiental ou classificação de sustentabilidade (ASSEFA *et al.*, 2010).

No SBTool, a abordagem consiste em ponderar os vários indicadores, considerando fatores de ponderação que são fixados a nível nacional. Cada “pontuação” é o resultado da comparação entre o edifício estudado e a referência nacional. Este esquema permite uma comparação internacional de edifícios de diferentes países. Outras ferramentas, como por exemplo o BREEAM e LEED, são baseadas em créditos. O número máximo de créditos disponíveis para cada indicador está relacionado com a sua importância na pontuação geral, que é expressa por uma classificação.

Existem também ferramentas baseadas na Análise do Ciclo de Vida (ACV) que são especialmente desenvolvidas para abordar o edifício como um todo, como por exemplo o Eco-Quantum (Países Baixos), EcoEffect (Suécia), Invest2 (Reino Unido), BEES 4.0 (EUA) e ATHENA (Canadá), mas que se encontram focadas apenas na avaliação do desempenho ambiental. A maioria dessas ferramentas foram desenvolvidas de acordo com uma abordagem *bottom up*, ou seja, o impacto ambiental global do edifício resulta do somatório do contributo de cada um dos elementos construtivos utilizados e dos impactos decorrentes da fase de utilização, incluindo a necessidade de energia (ERLANDSSON *et al.*, 2003).

O objetivo deste capítulo é apresentar e discutir diferentes abordagens para a avaliação do desempenho ambiental e do nível de sustentabilidade de edifícios. Este capítulo começa por apresentar uma visão geral do contexto internacional sobre os métodos ACV e métodos de avaliação da sustentabilidade.

Posteriormente, é apresentada uma base de dados com informação ambiental relativa às soluções construtivas, produtos de construção e sistemas de climatização e de preparação das águas quentes sanitárias, normalmente utilizados no projeto de edifícios em Portugal.

De seguida, apresenta-se, a título de exemplo, um método de avaliação da sustentabilidade que foi adaptado para o contexto específico de Portugal, o SBTool^{PT}. O capítulo termina com a apresentação de análise de dois dos métodos de avaliação da sustentabilidade mais utilizados internacionalmente: o BREEAM e o LEED.

VISÃO GERAL SOBRE OS MÉTODOS ACV E AS FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS E O SEU CONTRIBUTO PARA A SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO

Ao longo dos últimos anos têm sido contínuos e intensos, os esforços para a redução dos efeitos adversos resultantes dos processos de construção, utilização, renovação, demolição e fim de vida dos edifícios. Os métodos de avaliação da sustentabilidade de edifícios são ferramentas indispensáveis para aqueles que tentam apoiar a implementação de práticas e estratégias sustentáveis no setor de construção. Estes métodos, juntamente com o método de Análise do Ciclo

de Vida (ACV), podem servir como instrumentos de investigação e desenvolvimento, mas também como meios de persuasão sobre os profissionais, para que estes considerem aspetos ambientais na seleção dos materiais e sistemas, assim como no projeto e construção dos edifícios.

Nesta secção começa-se por apresentar os termos e aspetos mais correntes, associados à ACV de um edifício ou produto de construção. Adicionalmente, são abordados não só alguns dos métodos amplamente utilizados para a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios e dos métodos de ACV, mas também questões com enquadramento legal como, por exemplo, a certificação do comportamento térmico, rotulagem de produtos, entre outros.

a) Termos e aspetos

De acordo com Bragança *et al.* (2008a), a análise de ciclo de vida é uma abordagem sistemática para a avaliação dos potenciais impactos ambientais de um produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida. A estrutura básica de uma ACV consiste em quatro etapas fundamentais: objetivo e âmbito; análise de inventário; avaliação de impacto, interpretação, comunicação e revisão crítica, as limitações, as relações entre as fases ACV e condições de utilização.

Os estudos de ACV podem ser relativamente simples ou extremamente complexos, dependendo dos fatores considerados, da complexidade do sistema em estudo e do tipo e número de impactos avaliados. Dado que a ACV de um único material é uma tarefa difícil, a aplicação da ACV a edifícios, que incorporam diversos materiais e elementos, com diferentes características, diferentes períodos de vida útil, sujeitos a diferentes agentes agressivos e exigências de desempenho variadas, torna-se extremamente complexa. Esta dificuldade é amplamente reconhecida em diversas publicações (BLOK *et al.*, 2008; GLAUMANN *et al.*, 2008).

Os métodos de ACV não foram desenvolvidos especialmente para o setor de construção e edifícios. Na verdade, estes podem ser utilizados na modelação e avaliação de qualquer produto ou serviço. Consequentemente, podem ser utilizados para avaliar o impacto ambiental de cada material de construção, componente ou sistema. No contexto de uma abordagem muito complexa e detalhada, existem ferramentas mais sofisticadas de ACV que podem ser utilizadas para analisar um edifício.

A construção, operação ou demolição de um edifício num determinado lugar afeta o próprio local (redução ou aumento da área coberta por plantas ou árvores, etc.), enquanto que o local afeta de forma determinante várias decisões relevantes relativas ao projeto e à construção do edifício. As construções próximas ao edifício em estudo são também de grande importância para o seu projeto, construção e operação (acesso de espaços de ocupação primária à luz do dia, nível de ruído, restrições para as dimensões e forma do edifício, etc.). Além disso, as exigências decorrentes dos ocupantes devem estabelecer os limites para os desempenhos mínimos dos componentes e sistemas de construção. É evidente que a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios se estende muito para além da ACV dos seus componentes e sistemas, pelo que é necessária a adoção de uma

abordagem holística. Assim, devem ser abordadas questões relacionadas com o local de construção, desenho do edifício, consumo de energia na fase de utilização, entre muitos outros. Os métodos de avaliação de desempenho ambiental tendem a adotar esta via. Várias ferramentas incorporam critérios de ACV no seu procedimento para avaliação, como por exemplo, SBTool (LARSSON, 2007), Green Globes (GBI). Concluindo, a avaliação de desempenho ambiental de um edifício deverá incluir uma análise de ciclo de vida, mas não se deve cingir a esta.

De seguida, apresenta-se uma pequena referência às ferramentas mais utilizadas para a avaliação do desempenho ambiental e avaliação do ciclo de vida (ACV) dos edifícios.

b) Ferramentas de avaliação do ciclo de vida (ACV)

Uma das ferramentas mais antigas e que ainda é muito conhecida e aplicada, para a análise do perfil ambiental e económico dos produtos de construção é a BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*) (LIPPIAT, 2002). A BEES pode ser usada para analisar o perfil ambiental de um produto ou comparar o desempenho ambiental de produtos pertencentes à mesma categoria, uma vez que, inclui uma extensa base de dados sobre as quantidades de substâncias químicas emitidas ao longo do ciclo de vida dos produtos de construção mais utilizados. A pontuação final para cada produto resulta da soma das pontuações calculadas para cada uma das dez ou seis categorias de impacto disponíveis (dependendo do produto). Esta ferramenta também permite analisar o desempenho económico.

O SimaPro (PRE CONSULTANTS, 2007) é um programa informático avançado para a análise do ciclo de vida de materiais e componentes. Este inclui extensas bases de dados para variadíssimos materiais e produtos de construção e possibilita a utilização de diferentes métodos de avaliação do impacto de ciclo de vida e a seleção de diferentes cenários de eliminação. Assim, o SimaPro permite análises de diferentes níveis, indo desde um material simples, até sistemas muito complexos como, por exemplo, os edifícios. Para além disso, é possível apresentar os resultados da análise de diferentes formas.

c) Ferramentas de avaliação do desempenho ambiental de edifícios

O BREEAM foi o primeiro sistema de certificação do desempenho ambiental de edifícios (GOWRI, 2004). Este evoluiu a partir de uma lista de verificação de projeto para uma ferramenta de avaliação abrangente e, embora concebido para o Reino Unido, tem sido utilizado em vários países. Atualmente é reconhecido pelo setor de construção do Reino Unido como a referência para avaliar o desempenho ambiental.

O SBTool é a implementação do *software* do método Green Building Challenge (GBC) (iiSBE, 2004), atualmente designado por Sustainable Building Challenge (SBC). O método GBC/SBC visa a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios e foi desenvolvido sob a responsabilidade do iiSBE com a colaboração de mais de vinte países. Este método permite avaliar vários aspetos do

perfil ambiental de um edifício, fornecendo uma estimativa extensa e detalhada do desempenho do edifício em relação ao meio ambiente. A partir de 2012, no SBTool, esses aspetos são categorizados nas seguintes 7 categorias temáticas, chamadas de problemas de desempenho: 1) regeneração e desenvolvimento do local, desenho urbano e infraestruturas, 2) consumo de energia e recursos, 3) carga ambiental, 4) qualidade do ambiente interior, 5) qualidade do serviço, 6) aspetos sociais, culturais e percetuais e, 7) custos e aspetos económicos. Cada questão de desempenho inclui várias categorias de desempenho, que por sua vez incluem inúmeros critérios e subcritérios de desempenho. As pontuações atribuídas aos parâmetros de desempenho ambiental do edifício variam de -1 a +5, com 0 a corresponder ao desempenho mínimo aceitável para os vários tipos de ocupação dentro da região (determinado pelas regulamentações existentes ou práticas comuns da região) e +5 sendo atribuído ao maior desempenho possível.

O LEED foi desenvolvido pelo U.S. Green Building Council (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2001) e é um sistema de certificação que avalia o desempenho ambiental de um edifício em quatro categorias. A estimativa do desempenho ambiental de um edifício se baseia no número total de pontos que o edifício reúne durante a avaliação dos vários critérios. Finalmente, o edifício obtém um rótulo de desempenho que varia de prata, a ouro ou platina, de acordo com a sua pontuação final. Embora o LEED seja bastante simples para ser aplicado pelo utilizador (lista de condições e requisitos cumpridos ou não), é baseado em um sistema complexo de regulamentos de construção norte-americana.

d) Aplicação das ferramentas de avaliação de desempenho ambiental nos edifícios

A aplicação das ferramentas de ACV em edifícios ou produtos de construção numa região pressupõe a existência de extensas bases de dados (para matérias-primas, processos de produção, transporte, construção, etc.). Estas deveriam conter dados sobre vários aspetos relativos ao ambiente construído na região e da legislação nacional ou regional sobre as questões ambientais, que poderiam servir como mecanismos de *benchmarking* (GIARMA *et al.*, 2005). No entanto, não existe uma rede de informações e legislação deste tipo em muitos países (KONTOLEON *et al.*, 2008; BLOK, 2008; BRONIEWICZ, 2008; GERVÁSIO *et al.*, 2008; GRECEA *et al.*, 2008; GLAUMANN *et al.*, 2008; KAHRAMAN, 2008).

A título de exemplo, Arailopoulos *et al.* (2009) apresentaram uma análise de ciclo de vida de vários edifícios na Grécia, com recurso ao programa informático SimaPro. O método utilizado para avaliação do impacto foi o Eco-indicator 99. Esta análise centrou-se na análise de soluções convencionais para a envolvente de edifícios, incluindo os materiais mais utilizados na Grécia. Uma vez que até à data não existiam bases de dados com informação relativa aos perfis ambientais dos materiais de construção convencionalmente utilizados na Grécia, foram consideradas uma série de simplificações e premissas na realização do estudo. No entanto, de forma geral os resultados obtidos foram considerados bastante confiáveis.

Mais especificamente, verificou-se que, no caso de se considerar 100 km como distância média de transporte, entre o local de produção e aplicação, para todos os produtos utilizados, o transporte é o processo que mais contribui para o impacto ambiental incorporado nos produtos incorporados na construção de um edifício. Adicionalmente, os resultados deste estudo permitiram evidenciar a importância de diferentes cenários de fim de vida no perfil ambiental resultante.

BASE DE DADOS PARA A AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DE CICLO DE VIDA (AICV) DOS EDIFÍCIOS EM PORTUGAL

a) Objetivos e âmbito

A montagem, manutenção e desmantelamento dos produtos e elementos construtivos estão associados, tanto a nível internacional como em Portugal, ao consumo de quantidades significativas de energia e de recursos (entradas provenientes do ambiente natural - *inputs*) e à produção de emissões como, por exemplo, gases poluentes e resíduos sólidos (saídas para o ambiente natural - *outputs*). De modo a facilitar a contabilização do potencial impacto ambiental relacionado com esses *inputs* e *outputs* e a promover a adoção, por parte das equipas de projeto, de soluções de menor impacto ambiental desenvolveu-se e publicou-se em Portugal uma base de dados com a quantificação das categorias de impacto ambiental associadas a duas fases do ciclo de vida (do berço ao portão e fim de vida) de diversos elementos construtivos e produtos de construção e à fase de utilização de alguns equipamentos de climatização. A base de dados desenvolvida, intitula-se “Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios – Impacto Ambiental de Soluções Construtivas” (BRAGANÇA; MATEUS, 2012) e encontra-se disponível para consulta através da seguinte página: <http://hdl.handle.net/1822/2048>.

A utilização de certos produtos e tecnologias construtivos pode contribuir consideravelmente para melhorar o desempenho ambiental do ciclo de vida de um edifício e consequentemente a sua sustentabilidade. Atualmente, é amplamente aceite que, no âmbito da Avaliação da Sustentabilidade da Construção (ASC), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é o melhor método para avaliar os potenciais impactos ambientais causados por materiais, produtos e elementos construtivos ao longo do ciclo de vida dos edifícios. No entanto, a realidade mostra que o método e as ferramentas de ACV são pouco utilizados na conceção de edifícios e de outras construções e que a maior parte dos sistemas de avaliação da sustentabilidade de edifícios não utilizam esse método na avaliação dos impactos ambientais (CASTRO; MATEUS; BRAGANÇA, 2015). As duas principais razões que são, normalmente, evocadas para justificar a fraca utilização do método de ACV na conceção de edifícios e nos processos ASC, são: a grande variedade e quantidade de materiais e processos utilizados no ciclo de vida dos edifícios e a complexidade das fases do método de ACV.

Pelas razões supracitadas, na maior parte dos sistemas de avaliação da sustentabilidade, a avaliação do desempenho ambiental não tem por base um método de ACV e não é baseada num

conjunto normalizado de categorias de impacto ambiental. Por essa razão, os indicadores ambientais utilizados variam de sistema para sistema, o que dificulta a comparação de resultados.

De modo a corrigir esta situação a nível europeu, o Centro Europeu de Normalização (CEN) tem em curso uma Comissão Técnica (TC 350), cujo mandato passa por, entre outros, clarificar as categorias de impacto ambiental que deverão ser utilizadas na avaliação do desempenho ambiental dos edifícios. Segundo o trabalho em curso no CEN, as avaliações devem considerar a quantificação dos seis parâmetros ambientais expressos em categorias de impacto ambiental de ACV, que se encontram apresentados na Tabela 1.

Como a quantificação das categorias de impacto ambiental é um processo moroso e complexo, a lista apresentada na Tabela 1 foi desenvolvida de modo a possibilitar a utilização direta dos impactos ambientais que geralmente são apresentados nas Declarações Ambientais de Produto (DAPs). No entanto, de momento o número de empresas que fabricam produtos de construção que têm ou que publicitam a DAP dos seus produtos é muito reduzido. Desta forma, a solução atual passa pelo recurso a ferramentas e métodos ACV externos para a quantificação das referidas categorias. Como a maior parte das equipas de projeto não domina as fases do método ACV, esta solução não é na maior parte das vezes viável, pelo que acaba por constituir uma importante barreira a avaliações mais próximas da realidade.

Pelas razões supramencionadas, a publicação “Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios – Impacto Ambiental de Soluções Construtivas” teve como objetivo a quantificação das categorias de impacto ambiental apresentadas na Tabela 1 para algumas das soluções construtivas e materiais mais utilizados na construção de edifícios em Portugal e a sua divulgação sob o formato de uma base de dados. Para além dos valores correspondentes aos seis indicadores ambientais apresentados na referida Tabela, a base de dados contempla dois impactos ambientais baseados em dados de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), mas não expressos em categorias de ACV, nomeadamente: i) energia não renovável incorporada (ENR); e ii) energia renovável incorporada (ER).

Tabela 1 - Indicadores de impacto ambiental considerados na base de dados de ACV desenvolvida

Impactos ambientais expressos em categorias de ACV	Impactos ambientais baseados em dados de inventário de ciclo de vida (LCI), mas não expressos em categorias de ACV
Esgotamento de recursos abióticos (ADP); Potencial de Aquecimento Global, expresso em termos de emissões de gases com efeito de estufa (GWP); Destruição da camada de ozono estratosférico (ODP); Acidificação do solo e dos recursos hídricos (AP); Formação de ozono troposférico, expresso em oxidantes fotoquímicos (POCP); Eutrofização (EP).	Utilização de energia primária não renovável (ENR); Utilização de energia primária renovável (ER).

Fonte: elaboração própria.

Desta forma, as equipas de projeto poderão importar diretamente da base de dados o valor das categorias de impacto ambiental correspondentes às soluções construtivas definidas e assim estimar facilmente, sem necessidade de conhecimentos altamente especializados no domínio, o impacto ambiental do ciclo de vida do edifício em avaliação. A base de dados desenvolvida pode ser utilizada diretamente na avaliação da Categoria de Sustentabilidade “C1 - Alterações climáticas e qualidade do ambiente exterior” do sistema português de avaliação e certificação da sustentabilidade SBTool^{PT} (MATEUS; BRAGANÇA, 2015).

Com o desenvolvimento desta base de dados, pretende-se, por um lado, disponibilizar aos projetistas o desempenho ambiental de algumas das soluções construtivas e produtos de construção normalmente utilizados nos edifícios em Portugal, para que estes possam tomar as opções com vista à minimização dos impactos ambientais de ciclo de vida e, por outro, possibilitar a avaliação do desempenho ambiental do edifício com base num método ACV normalizado.

A base de dados abrange algumas das soluções construtivas mais utilizadas em cada um dos elementos construtivos, os produtos de construção mais utilizados na construção de edifícios em Portugal e os impactos ambientais associados à utilização de alguns equipamentos de climatização e aquecimento de águas sanitárias (AQS).

Na versão atual, a base de dados de avaliação do impacto de ciclo de vida (AICV) abrange um total 107 soluções construtivas (16 de pavimentos, 28 de paredes exteriores, 22 de paredes interiores, 23 de coberturas e 18 tipos de envidraçados), 47 produtos de construção e o impacto ambiental associado à utilização de 12 equipamentos de climatização e de aquecimento de água sanitária.

Tal como se representa na Figura 1, o ciclo de vida normal de um edifício pode ser descrito em três fases distintas, cada uma composta por uma ou vários processos de ciclo de vida: montagem; operação e; fim de vida. A fase de montagem inclui os impactos relacionados com: a aquisição de matérias-primas provenientes da extração de recursos ou reciclagem; transformação dessas matérias-primas em produtos; transporte dos produtos para o estaleiro de construção; atividades para a construção de um edifício e; substituição dos elementos construtivos durante os trabalhos de renovação de um edifício. A fase de operação está relacionada com os impactos decorrentes do consumo de energia para climatização, equipamentos, iluminação e aquecimento das águas quentes sanitárias. Por fim, a fase de desmontagem se refere: aos processos relacionados com a desconstrução/demolição do edifício; ao transporte dos resíduo para o local de tratamento; e ao cenário de tratamento considerado para cada tipo de resíduo gerado (deposição em aterro, reciclagem, entre outros).

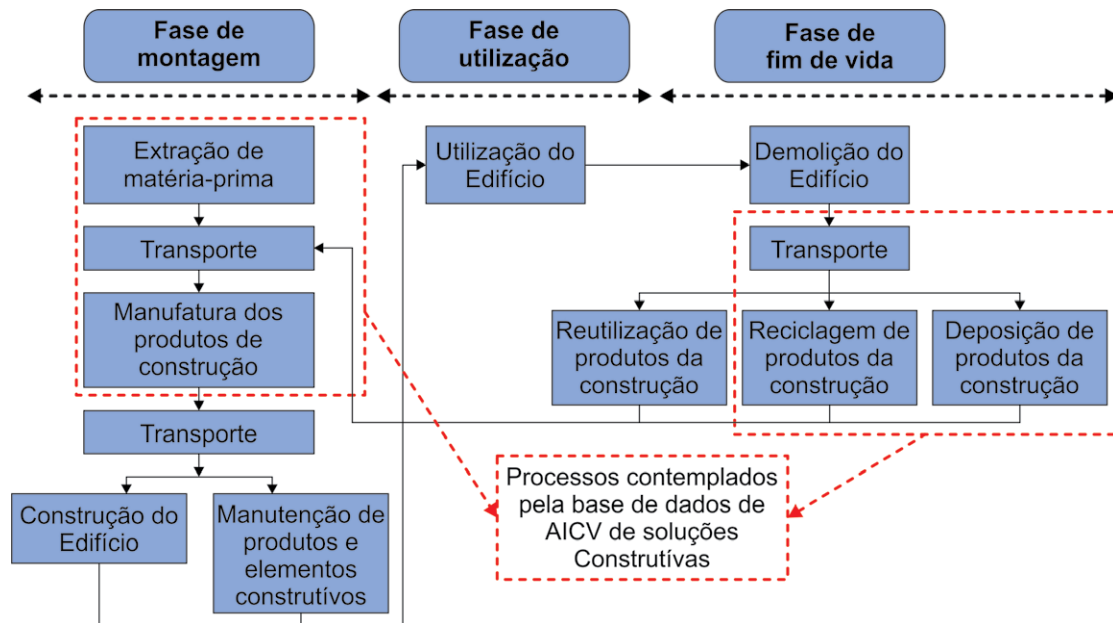


Figura 1 - Fases convencionais do ciclo de vida de uma edificação e processos contemplados na base de dados de ACV de soluções construtivas

Fonte: elaboração própria.

Tal como se pode constatar na Figura 1, a parte da base de dados de AICV dedicada às soluções construtivas abrange os impactos do berço ao portão da fábrica dos materiais ou produtos de construção (*cradle-to-gate*) e de fim de vida associados aos materiais utilizados em cada solução construtiva. À exceção dos envidraçados, a unidade declarada considerada nesta parte da base de dados foi de 1m^2 , pelo que os valores apresentados correspondem ao impacto associado à construção de 1m^2 de solução construtiva. No caso dos envidraçados, os valores apresentados correspondem a um envidraçado com as dimensões correntes de $1,48 \times 1,25 \text{ m}^2$. Nos impactos do berço ao portão foram considerados os processos correspondentes à extração das matérias-primas, transporte das mesmas até ao local de processamento e com o seu processamento. No desenvolvimento da base de dados não foram considerados: os impactos originados pelo transporte dos materiais e produtos de construção até ao estaleiro de construção; os impactos associados aos processos de construção em estaleiro e os impactos relacionados com os cenários de manutenção do edifício durante a sua vida útil. A fase de fim de vida reporta-se aos impactos associados ao seguinte cenário de fim de vida:

- Não são considerados os impactos associados aos processos de desconstrução/demolição;
- Distância média de transporte dos resíduos de desconstrução/demolição até ao local de tratamento/deposição igual a 50 km, utilizando um camião de média tonelagem;
- Recuperação para reciclagem de 95% dos metais ligados mecanicamente a outro tipo de materiais;
- Deposição dos restantes resíduos em aterro de inertes.

A parte da base de dados correspondente aos produtos de construção contempla apenas os impactos correspondentes à etapa do berço ao portão (*cradle-to-gate*). Nesta parte, a unidade declarada utilizada foi 1kg, pelo que os valores apresentados referem-se à produção de 1kg de produto. Na quantificação dos impactos relacionados com a produção dos produtos de construção foram considerados os processos correspondentes à extração das matérias-primas, transporte das mesmas até ao local de processamento e com o seu processamento. Esta parte da base de dados tem como objetivo que os projetistas estimem, de forma expedita, o valor dos indicadores ambientais de soluções construtivas que não se encontrem contempladas pela base de dados.

No que respeita à parte da base de dados com informação acerca de equipamentos de climatização e de aquecimento das águas sanitárias, esta tem como objetivo fornecer aos projetistas os impactos relacionados com o consumo de energia durante a fase de operação do edifício, em função do tipo de equipamento e combustível utilizados. Neste caso, a unidade declarada considerada é 1 kw.h de energia produzida pelos equipamentos. Nesta análise não foram contemplados os processos relacionados com a produção dos equipamentos e seu transporte até ao local de construção.

b) Inventário de ciclo de vida

No inventário de ciclo de vida (ICV), a primeira etapa incidiu sobre a quantificação de cada tipo de material utilizado por m² de solução construtiva. Este processo teve por base as fichas de rendimentos publicadas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (MANSO; FONSECA; ESPADA, 2004). Estas fichas apresentam um conjunto de operações de construção, com a identificação da quantidade de materiais e de produtos de construção utilizados.

Para a quantificação das entradas (matéria-prima, energia, etc.) e emissões (emissões para o ar, emissões para o solo, etc.) associadas à utilização dos materiais de construção contabilizados na etapa anterior e essenciais à quantificação dos impactos ambientais, utilizaram-se principalmente bases de dados com as entradas e emissões médias (genéricas) correspondentes ao contexto da Europa Ocidental. Esta solução se deve ao facto de que em Portugal não existem dados ICV para a generalidade dos materiais de construção e produtos produzidos. Assim, na inexistência de valores ICV nacionais, recorreu-se preferencialmente à utilização da base de dados Ecoivent v2.2 (SCLCI, 2010).

c) Quantificação das categorias de impacto ambiental

A modelação das fases de ciclo de vida das soluções construtivas, materiais e equipamentos para a quantificação dos indicadores ambientais foi realizada com recurso ao programa informático SimaPro v7.2 (Pré-consultants, 2010). Este programa integra as bases de dados de ICV internacionais mencionadas na secção anterior e vários métodos ACV que permitem converter os fluxos de materiais e respetivos valores de ICV em potenciais impactos ambientais.

Na avaliação dos impactos ambientais de ciclo de vida (AICV), foram utilizados três métodos intermédios de AICV: o método “CML 2 baseline 2000” (CML, 2001), o método “Cumulative Energy Demand” (FRISCHKNECHT *et al.*, 2003) e o método “IPCC 2001 GWP” (CC, 2001).

Na Tabela 2, relacionam-se as categorias de impacto ambiental com o método utilizado na sua quantificação e apresentam-se as unidades em que cada uma se expressa.

Tabela 2 - Método AICV e unidades utilizados na quantificação de cada uma das categorias de impacto ambiental

Categorias de impacto ambiental	Acrónimo	Método de ACV	Unidade
Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	ADP	CML 2 baseline 2000	kg Sb eq
Alterações climáticas	GWP	IPCC 2001 GWP	Kg CO ₂ eq
Potencial de destruição da camada de ozono	ODP	CML 2 baseline 2000	Kg CFC-11 eq
Potencial de acidificação	AP		kg SO ₂ eq
Potencial de formação de ozono troposférico	POCP		Kg C ₂ H ₄ eq
Potencial de eutrofização	EP		kg PO ₄ eq
Energia não-renovável incorporada	ENR		Cumulative Energy Demand
Energia renovável incorporada	ER	MJ eq	

Fonte: elaboração própria.

d) Estrutura e etapas para a utilização da base de dados de AICV

A Figura 2 apresenta, a título de exemplo, o modo como a informação, resultante da quantificação das categorias de impacto ambiental de uma das soluções construtivas analisadas, encontra-se organizada na base de dados de AICV desenvolvida. Neste caso, os valores apresentados para as categorias de impacto ambiental são os que estão relacionados com a construção de 1-m² de parede dupla de alvenaria de tijolo vazado (15cm + 11cm) com isolamento térmico em EPS na caixa-de-ar.

A base de dados desenvolvida possibilita a quantificação dos impactos ambientais de ciclo de vida de um edifício através de uma abordagem *bottom-up*, isto é, o impacto ambiental de ciclo de vida de um edifício resulta do somatório do impacto ambiental associado a cada solução construtiva (incluindo os impactos relacionados com a manutenção e com o cenário de fim de vida) com o impacto associado ao consumo de energia durante a fase de utilização. A forma como a informação está estruturada, permite estimar os impactos ambientais de ciclo de vida de um edifício em duas etapas.

A primeira etapa corresponde à quantificação dos impactos ambientais incorporados nas soluções construtivas utilizadas. Esta etapa inclui a quantificação do número total de metros quadrados de cada solução construtiva e a sua multiplicação pelos impactos correspondentes a 1

m² de cada solução. Quando uma determinada solução construtiva não se encontra disponível na base de dados, o avaliador poderá estimar o valor das categorias de impacto ambiental da mesma através da utilização da informação de AICV disponibilizada para os produtos de construção. Nesta secção da base de dados os impactos encontram-se expressos por quantidade (kg) de produto de construção.

Na segunda etapa quantificam-se os impactos ambientais de ciclo de vida do edifício, somando o resultado obtido na etapa anterior com os impactos correspondentes às operações de manutenção e ao consumo de energia na fase de utilização. A Tabela 3 apresenta resumidamente a metodologia que deverá ser adotada para a quantificação dos impactos de ciclo de vida de um edifício, através da utilização da Base de Dados de ACV apresentada.

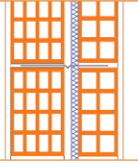
Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de ACV							Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
 Solução construtiva	Parede dupla de alvenaria de tijolo vazado (15cm+11cm) com isolamento térmico em EPS na caixa-de-ar							Ref: Par 1	
Cradle-to-gate	3.70	9.53	1.02	1.91	1.13	2.54	8.68	1.01	
	E-01	E+01	E-04	E-01	E-02	E-02	E+02	E+02	
Fim de vida	2.08	3.17	5.00	1.42	5.40	2.95	4.75	2.83	
	E-01	E+01	E-06	E-01	E-03	E-02	E+02	E+00	
Total	5.78	1.27	1.07	3.33	1.67	5.49	1.34	1.04	
	E-01	E+02	E-04	E-01	E-02	E-02	E+03	E+02	
Materiais Considerados: Tijolo vazado, poliestireno expandido extrudido (isolamento térmico), argamassa de assentamento e reboco (revestimento)									
Comentários: Método(s) de ACV: CML 2 baseline 2000 versão 2.04 (para avaliar o impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.04 (para avaliar a energia)									
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process									

Figura 2 - Modo como a informação ambiental de uma solução construtiva está estruturada na base de dados de AICV

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3 - Princípio a adotar para a quantificação dos impactos de ciclo de vida de um edifício

Solução construtiva (C _i)	Área (m ²)		Indicadores ambientais							
			ADP ₁ /m ²	GWP ₁ /m ²	ODP ₁ /m ²	AP ₁ /m ²	POCP ₁ /m ²	EP ₁ /m ²	NR ₁ /m ²	R ₁ /m ²
C ₁	A ₁	x								
			+	+	+	+	+	+	+	+
(...)	(...)	x	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
			+	+	+	+	+	+	+	+
C _n	A _n	x	ADP _n /m ²	GWP _n /m ²	ODP _n /m ²	AP _n /m ²	POCP _n /m ²	EP _n /m ²	NR _n /m ²	R _n /m ²
			+	+	+	+	+	+	+	+
Impacto ambiental do cenário de manutenção/m ² .ano			ADP _m	GWP _m	ODP _m	AP _m	POCP _m	EP _m	NR _m	R _m
			=	=	=	=	=	=	=	=
Impacto ambiental incorporado no edifício			ADP' _e	GWP' _e	ODP' _e	AP' _e	POCP' _e	EP' _e	NR' _e	R' _e
			÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
			Duração (em anos) do período de ciclo de vida em avaliação							
			÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
			Área útil do edifício							
			=	=	=	=	=	=	=	=
Impacto ambiental incorporado no edifício/m ² .ano			ADP _e	GWP _e	ODP _e	AP _e	POCP _e	EP _e	NR _e	R _e
			+	+	+	+	+	+	+	+
Impacto ambiental associado ao consumo energético para climatização e aquecimento de águas sanitárias /m ² .ano			ADP _o	GWP _o	ODP _o	AP _o	POCP _o	EP _o	NR _o	R _o
			=	=	=	=	=	=	=	=
Impacto total de ciclo de vida do edifício/m².ano			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	NR	R

Fonte: elaboração própria.

METODOLOGIA SBTOOL^{PT}

Conforme anteriormente referido, o SBTool – Sustainable Building Tool – é um método de avaliação de sustentabilidade de edifícios resultante da colaboração de vários países, desde 1996, promovido pela Iniciativa Internacional para um Ambiente Construído Sustentável (iiSBE). Este envolvimento internacional possibilitou a sua distinção entre as outras metodologias, uma vez que, o SBTool foi desenvolvido para permitir que os seus utilizadores pudessem considerar diferentes prioridades e adaptar a metodologia aos contextos ambientais, sociais, económicos e tecnológicos do país onde a mesma será aplicada.

A versão portuguesa do SBTool – SBTool^{PT} – foi desenvolvida pelo iiSBE Portugal com o apoio da Universidade do Minho e da empresa EcoChoice. Nesta metodologia, são consideradas as três dimensões do desenvolvimento sustentável e a classificação final de um edifício resulta da comparação de seu desempenho com dois *benchmarks*: a prática convencional e a melhor prática. Esta metodologia possui um módulo específico para vários tipos de ocupação de edifícios, sendo, nesta seção, apresentado o módulo para avaliação de habitações (SBTool^{PT}-H).

A fronteira física desta metodologia inclui o edifício, suas fundações e os trabalhos externos no local de construção. Questões como o impacto urbano na vizinhança, a construção de redes de comunicação, energia e transporte não estão no âmbito da metodologia. Quanto à fronteira temporal, esta inclui todo o ciclo de vida – do berço ao túmulo.

A Tabela 3 apresenta as categorias (indicadores globais) e os indicadores utilizados na metodologia para avaliar habitações. Esta metodologia possui um total de nove categorias de sustentabilidade (resume o desempenho do edifício ao nível de alguns aspetos-chave da sustentabilidade) e vinte e cinco parâmetros de sustentabilidade, dentro das três dimensões de sustentabilidade.

A metodologia é sustentada por um guia de avaliação e sua estrutura inclui (Figura 3):

1. Quantificação do desempenho do edifício ao nível de cada parâmetro apresentado no guia de avaliação;
2. Normalização e agregação de parâmetros;
3. Cálculo da classificação de sustentabilidade e avaliação global.

Cada uma destas etapas do SBTool^{PT} será apresentada de forma sucinta nas secções seguintes.



Figura 3 - Estrutura da metodologia SBTool^{PT}

Fonte: elaboração própria.

b) Método de avaliação

b.1) Quantificação

Os procedimentos que devem ser utilizados para quantificar o desempenho do edifício, ao nível de cada parâmetro de sustentabilidade, estão descritos detalhadamente no documento “Guia de Avaliação SBTool^{PT}-H”.

Ao nível dos parâmetros ambientais, o SBTool^{PT} utiliza as mesmas categorias de impacto ambientais que constam nas Declarações Ambientais do Produto (DAP), para a avaliação do impacto de ciclo de vida (parâmetro P1). Uma vez que existe um número limitado de DAPs disponíveis, pode-se utilizar a base de dados AICV apresentada na secção anterior.

Ao nível do desempenho social, o guia de avaliação apresenta os métodos analíticos que devem ser utilizados para quantificar os parâmetros.

O desempenho económico se baseia no valor de mercado das habitações e nos custos de operação (custos relacionados com a água e o consumo de energia).

Tabela 4 - Lista de categorias e indicadores de sustentabilidade da metodologia SBTool^{PT}

Dimensão	Categoria	Parâmetros de sustentabilidade
Ambiental	C1 – Alterações climáticas e qualidade do ar exterior	P1 – Valor agregado das categorias de impacto ambiental de ciclo de vida do edifício por m ² de área útil de pavimento e por ano
		P2 – Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível
	C2 – Uso do solo e biodiversidade	P3 – Índice de impermeabilização
		P4 – Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada
		P5 – Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones
		P6 – Percentagem de área em planta com reflectância igual ou superior a 60%
	C3 – Energia	P7 – Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis
		P8 – Energia produzida localmente a partir de fontes renováveis
	C4 – Materiais e resíduos sólidos	P9 – Percentagem em custo de materiais reutilizados
		P10 – Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício
		P11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados
		P12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão
		P13 – Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos
	C5 – Água	P14 – Volume anual de água consumido per capita no interior do edifício
		P15 – Percentagem de redução do consumo de água potável
Social	C6 – Conforto e saúde dos utilizadores	P16 – Potencial de ventilação natural
		P17 – Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV
		P18 – Nível de conforto térmico médio anual
		P19 – Média do Fator de Luz do Dia Médio
		P20 – Nível médio de isolamento acústico
	C7 – Acessibilidade	P21 – Índice de acessibilidade a transportes públicos
		P22 – Índice de acessibilidade a amenidades
	C8 – Sensibilização e educação para a sustentabilidade	P23 – Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício
Económica	C9 – Custos de ciclo de vida	P24 – Valor do custo do investimento inicial por m ² de área útil
		P25 – Valor atual dos custos de utilização por m ² de área útil

Fonte: elaboração própria.

b.2) Normalização e agregação dos parâmetros

A normalização tem como objetivo evitar o efeito de escala que acontece na agregação dos parâmetros, em cada indicador, e resolver problemas do tipo “quanto maior melhor” e “quanto menor melhor”. A normalização utiliza a equação 1, usualmente designada por equação de Diaz-Balteiro (2004).

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} V_i \quad (1)$$

Nesta equação, P_i é o valor do i -ésimo parâmetro. P_i^* e P_{*i} são o melhor e o pior valor do i -ésimo parâmetro de sustentabilidade. O melhor valor representa a melhor prática e o pior, a prática convencional ou o valor mínimo legal.

A normalização para além de tornar os valores dos parâmetros adimensionais, converte os valores entre a melhor prática e a prática convencional, numa escala entre 0 (pior valor) e 1 (melhor valor). Esta equação é, então, válida tanto para as situações em que quanto maior for o valor, melhor o desempenho, como para o contrário.

De forma a facilitar a interpretação dos resultados, os valores normalizados, de cada parâmetro, são convertidos para uma escala qualitativa, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Conversão dos valores normalizados quantitativos para uma escala qualitativa

Nota	Valor
A+ (acima da melhor prática)	$\bar{P}_i > 1,00$
A	$0,70 < \bar{P}_i \leq 1,00$
B	$0,40 < \bar{P}_i \leq 0,70$
C	$0,10 < \bar{P}_i \leq 0,40$
D (prática convencional)	$0,00 < \bar{P}_i \leq 0,10$
E (inferior à prática convencional)	$\bar{P}_i \leq 0,00$

Fonte: elaborado pelos autores.

A agregação consiste no cálculo do comportamento médio ponderado ao nível das categorias e das dimensões, tendo por base o desempenho obtido ao nível dos indicadores pertencentes a cada categoria e ao nível das categorias, respetivamente. O desempenho correspondente a cada uma das três dimensões de sustentabilidade é obtido através da Equação 2.

$$I_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \bar{P}_i \quad (2)$$

O indicador I_j é o resultado da média ponderada de todos os parâmetros \bar{P}_i . w_i é o fator de ponderação do i -ésimo parâmetro. O somatório de todos os fatores deverá ser igual a 1.

Na definição dos fatores de ponderação para os indicadores ambientais, o método se baseia na metodologia TRACI do *Science Advisory Board* da Agência para a Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA) e os fatores de ponderação dos aspetos sociais se baseiam em estudos realizados na população portuguesa (MATEUS; BRAGANÇA, 2011).

b.3) Avaliação global e qualificação

O último passo da metodologia é calcular a nota de sustentabilidade (NS). A NS é um índice único que apresenta o desempenho de sustentabilidade global do edifício, sendo obtido através da equação 3.

$$NS = W_E \times I_E + W_S \times I_S + W_C \times I_C \quad (3)$$

Onde NS é a nota de sustentabilidade, I_i é o desempenho ao nível da dimensão i e w_j é o fator de ponderação da j -ésima dimensão.

A Tabela 6 apresenta os fatores de ponderação de cada dimensão de sustentabilidade na avaliação do desempenho global

Tabela 6 - Fatores de ponderação de cada dimensão de sustentabilidade da metodologia SBToolPT-H

Dimensão	Fator de ponderação (%)
Ambiental	40
Social	30
Económica	30

Fonte: elaboração própria.

Habitualmente, a maioria dos decisores do sector de construção gosta de ver apenas um único valor, representado numa escala, que represente o desempenho global do edifício. Este valor, deverá ser de fácil entendimento e interpretação por parte dos ocupantes do edifício e deverá apoiar os promotores, projetistas e outros decisores nas tomadas de decisão que resultem no desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis.

No entanto, devido à possibilidade de compensação entre a classificação obtida em diferentes categorias, no método SBTool^{PT} o desempenho global do edifício não é apenas comunicado

através de um único indicador. O desempenho é apresentado para cada categoria, dimensão e avaliação global, utilizando uma escala de desempenho compreendida entre A+ (mais sustentável) a E (menos sustentável). Na Figura 4, apresenta-se a estrutura do certificado que resulta da avaliação de um edifício através da aplicação do método SBTool^{PT}. Tal como se poderá observar, o certificado se encontra subdividido em três campos: 1) Identificação do Edifício; 2) Etiqueta de Sustentabilidade e 3) Desagregação do Desempenho por Cada Categoria.

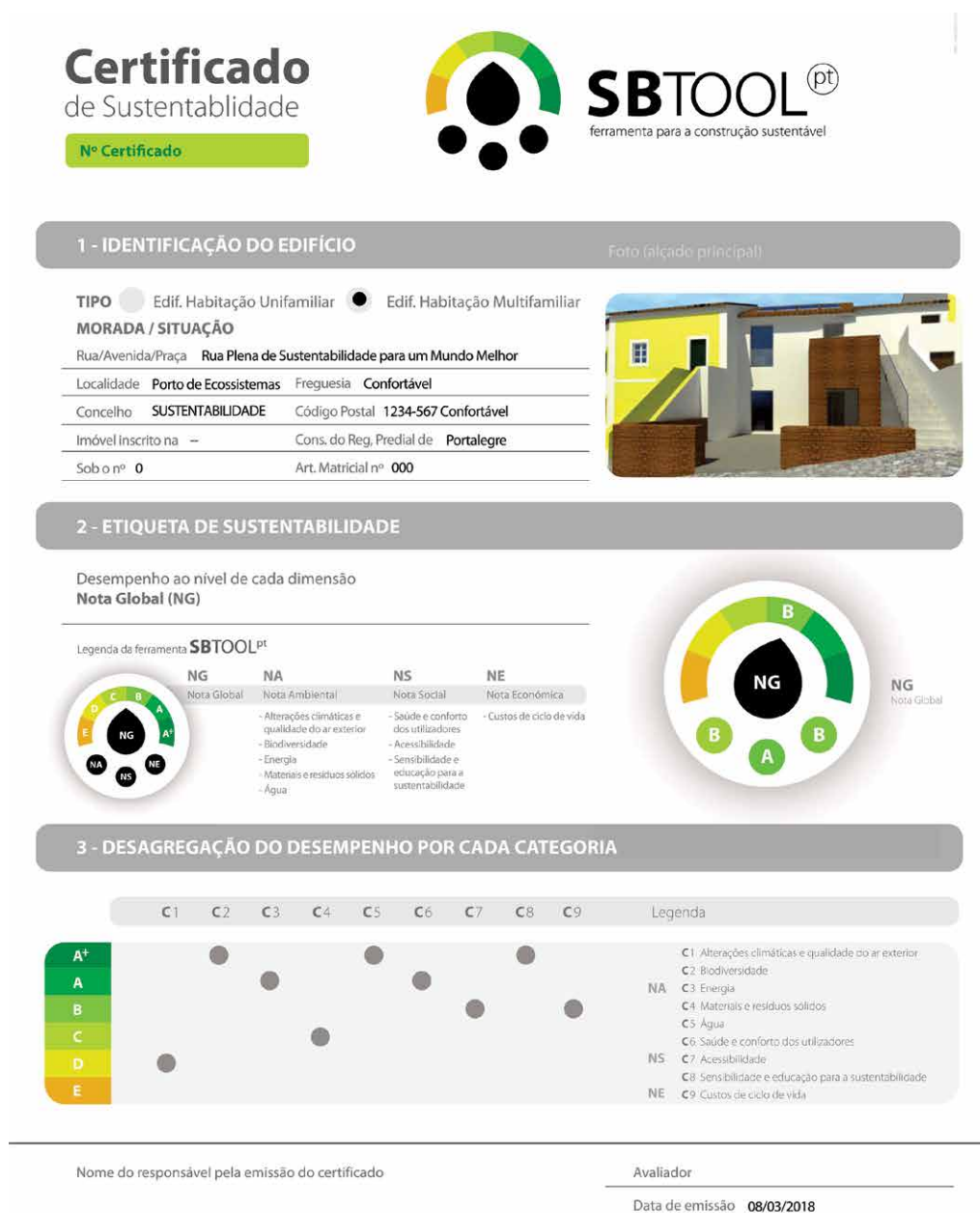


Figura 4 - Certificado de Sustentabilidade (exemplo) do método SBToolPT

Fonte: elaborado pelos autores.

METODOLOGIAS BREEAM E LEED

a) Estrutura do BREEAM

O *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) foi criado em 1990. Deste então, as versões têm vindo a ser atualizadas regularmente de acordo com as alterações nos regulamentos e legislação do Reino Unido. Para além disso, têm sido desenvolvidas novas versões para dar resposta a diferentes tipologias de edifícios.

As categorias avaliadas neste sistema são: Gestão; Saúde e bem-estar; Inovação; Utilização do solo; Materiais; Energia; Poluição; Transportes; Água e; Resíduos.

A cada uma destas áreas, são atribuídos créditos. Os créditos têm origem nos fatores de ponderação de cada categoria de forma a dar origem ao indicador de desempenho único. O edifício é depois avaliado numa escala de: passa, bom, muito bom, excelente e extraordinário (Figura 5).

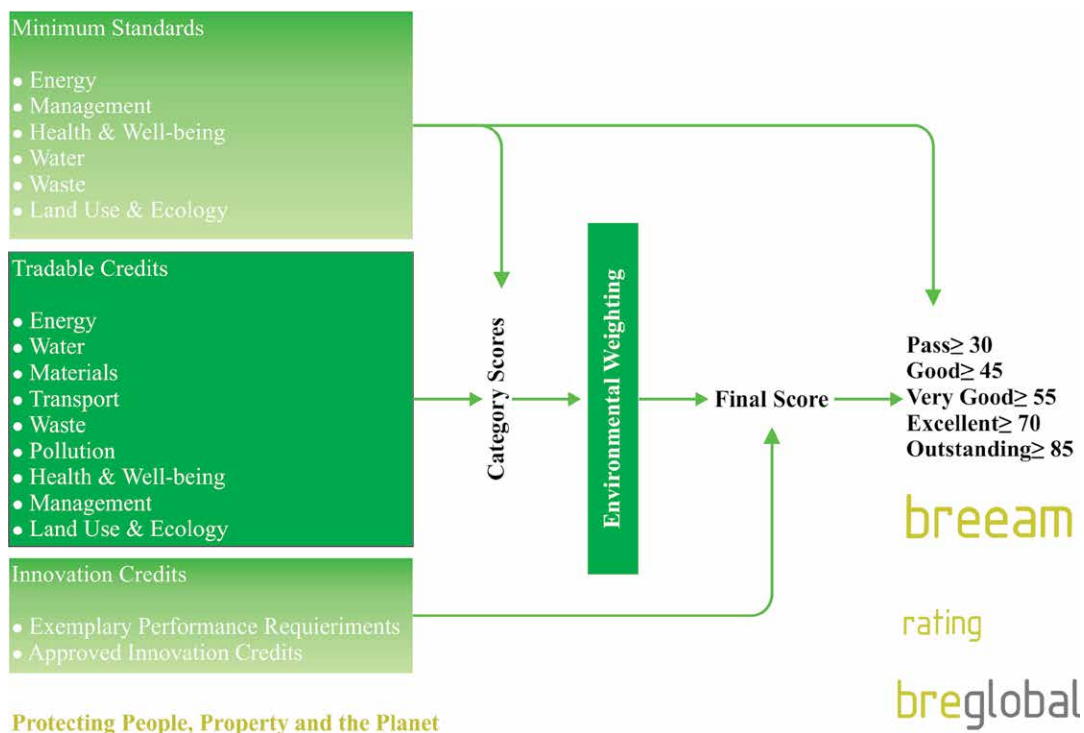


Figura 5 - Estrutura da metodologia BREEAM

Fonte: BREEAM, 2009.

Apesar deste método ter sido desenvolvido e ser atualizado para o contexto Britânico, é também utilizado internacionalmente na Europa e noutros continentes. Esta aplicação pode ser feita através das metodologias adaptadas especificamente para o contexto de alguns países, como o caso da Holanda, Noruega, Espanha e Estados Unidos da América ou, então, através da versão internacional que, supostamente, pode ser aplicada em qualquer país, desde que se obtenha o consentimento para a sua utilização pelo Building Research Establishment (BRE).

a.1) Indicadores

O número e a tipologia de aspetos considerados variam consoante a tipologia de edifício. A Tabela 7 apresenta os critérios e categorias da metodologia BREEAM internacional. Esta abordagem conta com 9 categorias e 70 critérios.

Tabela 7 - Lista de categorias e aspetos do BREEAM internacional para construção nova de edifícios residenciais

Categorias Principais	Aspetos
1. Gestão	Orientações de projeto e desenho; Custos de ciclo de vida e planeamento de vida útil; Práticas de construção responsável; Comissionamento e entrega; Manutenção
2. Saúde e bem-estar	Conforto visual; Qualidade do ar interior; Conforto térmico; Desempenho acústico; Acessibilidade; Toxicidade; Espaço privado; Qualidade da água
3. Energia	Redução do consumo de energia e emissões de CO ₂ ; Monitorização do consumo de energia; Iluminação exterior; Desenho baixo em carbono; Sistemas de transporte energeticamente eficientes; Equipamentos energeticamente eficientes; Espaço para secagem de roupa
4. Transportes	Acesso a transportes públicos; Proximidade a amenidades; Modos alternativos de transporte; Planos de mobilidade (não aplicável a unifamiliar); Escritório em casa
5. Água	Consumo de água; Monitorização do consumo de água; Detecção de fugas e prevenção; Equipamentos de baixo consumo de água
6. Materiais	Impactos de ciclo de vida; Produtos de construção de fontes responsáveis; Desenho para a durabilidade e resiliência; Eficiência de materiais
7. Resíduos	Gestão dos resíduos de construção; Agregados reciclados; Resíduos urbanos; Acabamentos definidos pelos ocupantes (não aplicável a unifamiliar); Adaptação às alterações climáticas; Adaptabilidade funcional
8. Utilização do solo e ecologia	Seleção do local; Valor ecológico do local e proteção das características ecológicas; Melhoria da ecologia local; Impacto de longa duração na biodiversidade
9. Poluição	Impacto de refrigeradores; Emissões de NO _x ; Escoamento de água em superfícies; Redução da poluição sonora (não aplicável a unifamiliar)
10. Inovação	Inovação

Fonte: BRE Global, 2016.

a.2) Agregação

Em vez de utilizar um método de agregação, esta metodologia é baseada num sistema de créditos. Os créditos são atribuídos quando os objetivos são atingidos e os aspetos de maior importância têm créditos mais elevados.

Uma vez que esta abordagem pode ser usada em diversos países, o sistema de créditos foi ajustado de forma a ter em conta os contextos ambiental, social e económicos, respetivos. A Tabela 8 apresenta os pesos das principais categorias do BREEAM Internacional e compara-as com as do BREEAM para o Reino Unido.

Tabela 8 - Lista das categorias e fatores de ponderação do BREEAM UK e BREEAM internacional para edifícios de serviços

Categoria	BREEAM UK (%)	BREEAM Internacional (%)
Gestão	12,00	12,00
Saúde e bem-estar	15,00	15,00
Energia	15,00	19,00
Transportes	9,00	8,00
Água	7,00	6,00
Materiais	13,50	12,50
Resíduos	8,50	7,50
Utilização do solo e ecologia	10,00	10,00
Poluição	10,00	6,50
Inovação	+10,00	+10,00

Fonte: BRE Global, 2014, 2016

b) Estrutura do LEED

O LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design* foi desenvolvido pela *United States Green Building Council (USGBC)*. Este é um processo voluntário que pode ser aplicado a qualquer tipo de construção.

O LEED apresenta uma abordagem integral do edifício no que diz respeito a questões de sustentabilidade, de acordo com critérios de desempenho em áreas chave. De acordo com as ponderações das categorias, os créditos são formados para produzir uma pontuação geral única. O edifício é depois avaliado numa escala: Certificado (≥ 40 pontos); Prata (≥ 50 pontos); Ouro (≥ 60 pontos); e Platina (≥ 80 pontos).

Este método usa as categorias de impacto ambiental TRACI, da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (US EPA), como base para a ponderação de cada crédito. Adicionalmente, também são consideradas as ponderações desenvolvidas pelo *National Institute for Standards and Technology (NIST)* dos EUA. Ambas as abordagens atribuem um fator de ponderação relativo à importância de cada categoria de impacto ambiental. Juntas, estas abordagens, fornecem uma base adequada para determinar o valor relativo de cada crédito no LEED, quando aplicado nos Estados Unidos da América.

b.1) Indicadores

No LEED, existem diferentes versões para os diferentes tipos de edifícios. Adicionalmente, existem ferramentas específicas para cada fase do ciclo de vida que se pretende avaliar. Consequentemente, a lista de indicadores é diferente de versão para versão e a Tabela 9 apresenta as categorias, pré-requisitos e indicadores de sustentabilidade da LEED v4 para Edifícios Novos e Grandes Renovações.

Tabela 9 - Lista de categorias, pré-requisitos e indicadores da LEED v4 para edifícios novos e grandes renovações

Categorias	Pré-requisitos	Indicadores
1. Localização e Transporte		LEED para desenvolvimento do bairro local; Proteção sensível da Terra; Local de alta prioridade; Densidade circundante e usos diversos; Acesso a mobilidade de qualidade; Instalações para bicicletas; Redução da pegada de estacionamento; Veículos verdes
2. Locais Sustentáveis	Prevenção da poluição resultante das atividades de construção	Avaliação do local; Desenvolvimento do local – Proteger e restaurar os <i>habitats</i> ; Espaços abertos; Gestão das águas pluviais; Rede de águas pluviais; Redução do efeito de ilha de calor; Redução da poluição luminosa
3. Eficiência da Água	Redução do consumo de água no interior Redução do consumo de água no exterior Monitorização dos consumos de água	Redução do consumo de água no exterior; Redução do consumo de água no interior; Uso de água na torre de arrefecimento; Medição da água
4. Energia e atmosfera	Comissionamento base dos Sistemas Energéticos dos Edifícios requerido Desempenho energético mínimo Gestão base de gases refrigerantes Monitorização dos consumos de energia	Comissionamento avançado; Otimização do desempenho energético; Energia renovável no local; Monitorização avançada da energia; Resposta à procura; Produção de energia renovável; Gestão avançada dos gases refrigerantes; “Energia Verde” e compensações de carbono
5. Materiais e Recursos	Armazenamento e recolha de resíduos recicláveis Gestão dos resíduos de construção e demolição	Redução do impacto de ciclo de vida do edifício; Divulgação e otimização dos produtos de construção – declarações ambientais; Divulgação e otimização dos produtos de construção – fontes de matéria-prima; Divulgação e otimização dos produtos de construção – constituintes dos materiais; Gestão de resíduos de construção e demolição
6. Qualidade do Ambiente Interior	Requisitos mínimos de qualidade do ar interior Controlo ambiental do fumo do tabaco (ETS)	Estratégias avançadas de qualidade do ar interior; Materiais de baixa emissividade; Plano de gestão da qualidade do ar interior; Avaliação da qualidade do ar interior; Conforto térmico; Iluminação interior; Iluminação natural; Vistas de qualidade; Desempenho acústico
7. Inovação		Inovação; Profissional credenciado LEED
8. Prioridade Regional		Prioridade Regional

Fonte: USGBC, 2014

b.2) Agregação dos indicadores na quantificação da avaliação global

Em vez de usar um método de agregação, esta metodologia é baseada num sistema de créditos. Os créditos são concedidos à medida que determinadas condições vão sendo satisfeitas. Como no caso do BREEAM, os indicadores de maior importância têm um maior número de créditos. A relevância de cada categoria no desempenho global varia dependendo do tipo de edifício em avaliação. A Tabela 10 apresenta o peso das principais categorias do método LEED v4, de acordo com o tipo de projeto.

Tabela 10 - Peso das principais categorias da LEED v4 de acordo com o tipo de projeto

Categorias Principais	Pesos de acordo com o tipo de projeto (%)				
	Escolas	Comércio	Edifícios Existentes	Construção Nova	Interior & envolvente
Localização e Transporte	15	16	15	16	20
Locais sustentáveis	12	10	10	10	11
Eficiência da água	12	12	12	11	11
Energia e atmosfera	31	33	38	33	33
Materiais e Recursos	13	13	8	13	14
Qualidade do Ambiente Interior	16	15	17	16	10
Inovação	6	6	6	6	6
Prioridade Regional	4	4	4	4	4

Fonte: USGBC, 2014.

c) Comparação entre o BREEAM e LEED

O BREEAM e o LEED, apesar de terem sido desenvolvidos para os contextos nacionais do Reino Unido e dos Estados Unidos da América do Norte, são os dois sistemas de certificação de sustentabilidade mais utilizados a nível mundial. Deste modo, existem muitos estudos publicados que mostram as vantagens e inconvenientes de cada uma das duas abordagens. A Tabela 11 apresenta um resumo dos principais detalhes e diferenças entre os dois esquemas e a Figura 6 resume as diferenças ao nível das principais categorias de sustentabilidade e a importância de cada uma na pontuação geral.

A Tabela 12 apresenta a cobertura dos principais problemas de construção sustentável pelos dois esquemas. As questões-chave apresentadas são aquelas que normalmente são consideradas relevantes, a nível internacional, pelas diferentes abordagens existentes de avaliação e certificação de sustentabilidade.

Tabela 11 - Principais detalhes, semelhanças e diferenças entre o LEED e o BREEAM

Campo	Esquema	
	LEED	BREEAM
Organização	USGBC	BRE
Data de início	1998	1990
Inspetor	USGBC	Assessores autorizados
Especialistas	Profissionais credenciados LEED	Assessores BREEAM
Níveis de certificação	Certificado/Prata/Ouro/Platina	Passa/Bom/Muito bom/Excelente/Excepcional
Taxas de certificado	\$ 2.250 - \$ 22.500 + Consultor* (se o edifício conseguir atingir o nível platina, a taxa é devolvida)	£ 1500 + assessor + consultor* (voluntário)
Outras taxas	\$ 220 – Pedido de explicação de crédito \$ 500 – Objeção à pontuação	---
Revisão dos indicadores e critérios	Se for necessário	Todos os anos
Tipos de certificado	Um tipo de certificado após a construção	Dois certificados diferentes, Projeto e após Construção
Documentos de referência	Taxa de \$ 200 (aberto ao público)	Aberto apenas para assessores
Regulamentos	Normas Americanas ASHRAE	Legislação do Reino Unido
Pesos	Independente do contexto. Os créditos calculados da LEED estão ligados ao dólar americano (especialmente os créditos de energia).	Varia de acordo com o contexto (p.e., no BREEAM Gulf, a água é uma questão chave - em vez da energia no caso do Reino Unido)
Edifícios Especiais	---	Se um edifício não se encaixa perfeitamente num dos esquemas existentes, com a ajuda da BREEAM Bespoke BRE, podem-se desenvolver critérios de avaliação especialmente adaptados ao mesmo

Fonte: elaborado pelos autores.

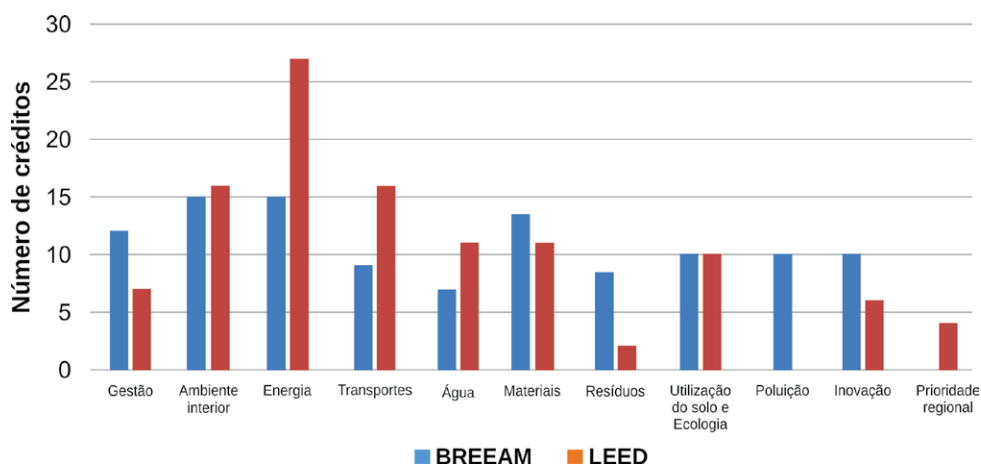


Figura 6 - Categorias de sustentabilidade e a importância de cada uma na pontuação geral

Fonte: Andrade, 2016.

Tabela 12 - Cobertura das áreas-chave da construção sustentável pela LEED e BREEAM para habitação unifamiliar

Áreas chave da construção sustentável	Questões cobertas	
	LEED	BREEAM
GERAL		
Redução do consumo de energia	★	★
Preparação de diretrizes para a utilização do edifício		★
Utilização de solo previamente desenvolvido e/ou contaminado	★	★
Espaço para reciclagem de resíduos		★
Maximização de áreas verdes	«	
Diminuição do efeito de ilha de calor	★	
SISTEMAS ELECTRO MECÂNICOS		
Comissionamento (ativação automática)	★	★
Minimização do nível de iluminação		★
Componentes de conforto para iluminação	★	★
Ventilação	★	★
Componentes de conforto térmico	★	★
Monitorização do consumo de energia	★	★
Diminuição da poluição luminosa	★	★
Utilização de sistemas de energia renovável no local	★	
CONSUMO DE ÁGUA		
Uso de equipamentos com baixo consumo		★
Sensores de fuga		★
Arquitetura paisagista com planos de poupança de água	★	
Monitorização do consumo da água	★	★
POLUIÇÃO AMBIENTAL		
Redução das emissões de CO ₂		★
Prevenção da poluição durante a construção	★	★
Valor ecológico do local		
Redução de emissões quentes para a camada de ozono	★	★
Redução das emissões de NO _x		★
Redução dos impactos do isolamento para o aquecimento global		★
Redução do risco de cheia	★	★
MATERIAL		
Seleção de materiais sustentáveis	★	★
Seleção de materiais reciclados	★	★
Reutilização da estrutura e envolvente do edifício	★	★
Seleção de materiais regionais	★	
SAÚDE HUMANA E PROSPERIDADE		
Desempenho acústico		★
Materiais com baixo teor de COV		
Luz natural e ofuscamento	★	★
Iluminação de alta frequência		★
Prevenção da poluição do ar interior	★	

Fonte: Andrade, 2016

CONCLUSÃO

Os contextos ambiental, social e económico que se verificam na atualidade comprovam a relevância em se desenvolverem edifícios mais sustentáveis.

O desenho, construção e a utilização sustentáveis de edifícios se baseiam na avaliação da pressão ambiental (relacionada com os impactos ambientais), aspetos sociais (relacionados com o conforto dos utilizadores e outros benefícios sociais) e aspetos económicos (relacionados com os custos do ciclo de vida). O projeto sustentável procura uma maior compatibilidade entre os ambientes artificial e natural, sem comprometer os requisitos funcionais dos edifícios e os custos associados.

A funcionalidade e adequação de diferentes ferramentas de avaliação de sustentabilidade foram cuidadosamente avaliadas por investigadores da área, levando à publicação de vários artigos relevantes. No caso dos métodos de avaliação da sustentabilidade, estes podem ser utilizados nas diferentes fases do projeto de um edifício, desde a fase inicial de definição ou desenho técnico até à fase de utilização de um edifício, a fim de obter uma visão geral da consecução das metas de sustentabilidade. Atualmente, existem métodos orientados para apoiar os projetistas na adoção de soluções que permitam a satisfação de determinados níveis de desempenho e outros que permitem avaliar o nível de desempenho que é possível alcançar através da adoção de um determinado cenário de projeto.

Embora a maioria dos métodos de avaliação contenha aspetos subjetivos, que podem dificultar a sua utilização, estes têm um papel importante, não só na avaliação dos impactos de um edifício existente, mas também, e ainda mais importante, na orientação apropriada do projeto para a satisfação de objetivos de desempenho sustentável. O maior constrangimento para a avaliação da sustentabilidade, através de alguns métodos, é a avaliação ser subjetiva e depender, sobretudo, da função do edifício, bem como do seu contexto socioeconómico e cultural. Além disso, um dos aspetos que mais influenciam o resultado da avaliação é a lista de indicadores e respetivos parâmetros, uma vez que o resultado depende do desempenho obtido em cada um destes. A definição da lista de indicadores e respetivos parâmetros a serem adotados internacionalmente é uma solução a explorar para tornar os métodos de avaliação mais objetivos.

Desta forma, e apesar de numerosos estudos no domínio da avaliação de sustentabilidade de edifícios, falta uma metodologia que seja aceite por todos, para auxiliar arquitetos e engenheiros nas etapas de projeto, construção e remodelação de um edifício. No entanto, apesar das limitações dos diferentes métodos, a sua utilização cada vez mais generalizada tem impactos positivos, diretos e indiretos, na promoção da construção sustentável. Muitos países têm ou estão a desenvolver métodos de avaliação internos, tornando a necessidade de partilha e coordenação internacionais cada vez mais relevantes. O *Sustainable Building Challenge*, organizado pela Iniciativa Internacional

para um Ambiente Construído Sustentável (iisBE) tem sido um veículo essencial para a promoção do conceito de construção sustentável. Para além disso, tanto a Organização Internacional de Normalização (International Organization of Standardization, ISO), como o Comité Europeu de Normalização (CEN) têm atualmente um papel fulcral nos avanços para a normalização de indicadores e métodos de avaliação da sustentabilidade em edifícios. Assim, apesar de atualmente já existirem muitos métodos e ferramentas adaptadas aos contextos nacionais, regionais e locais que são adequadas para realizar a avaliação da sustentabilidade, espera-se que num futuro próximo, venha-se a desenvolver ainda um maior consenso internacional acerca da abordagem mais adequada para avaliar o nível de sustentabilidade da construção.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.; BRAGANÇA, L. Sustainability assessment of dwellings – a comparison of methodologies. *Civil Engineering and Environmental Systems*. 2016, 33. pp 125-146.

ANON.2003. Environmentally Sustainable Buildings: Challenges and Policies. OECD Policy Brief. OECD.

ASSEFA G, GLAUMANN M, T MALMQVIST, ERIKSSON O. Quality versus impact: Comparing the environmental efficiency of building properties using the EcoEffect tool. *Building and Environment*, 2010, 45, Issue 5, p. 1095-1103.

ARAILOPOULOS, A., CHASTAS, P. 2009. *ACV in buildings with the application of SimaPro software and of the Eco-indicator 99 method*. Diploma Thesis in the Department of Civil Engineering of Aristotle University of Thessaloniki (in Greek), Thessaloniki.

BIKAS, D., GIARMA, C., PAPALEXANDROU, M. 2005. A study of the effect of the use of photovoltaic technology on the environmental performance of a building in northern Greece. Proc. of International Conference SB05Tokyo: “2005 World Sustainable Building Conference”, Tokyo, September 27-29, 2005.

BLOK, R. 2008. Survey of sustainable approaches in the Netherlands; Government policies. International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”. Dresden, Germany: October. Cost Action C25. ISBN 978-3—86780-094-5. p. 2.51 – 2.55.

BLOK, R., GERVASIO, H.2008. Guidelines to perform Life Cycle Analysis of buildings. International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”. Dresden, Germany: October. Cost Action C25. ISBN 978-3—86780-094-5, p 5.1 – 5.8.

BOVERKET. MILJÖKLASSAD BYGGNAD - Manual för ny/projekterad byggnad. Utgåva version 2.0 2010. Intresseföreningen Miljöklassad Byggnads Tekniska Råd. Boverket mars 2010.

BOVERKET. Miljöklassad byggnad - Manual för befintlig byggnad. Utgåva version 2.0 2010. Intresseföreningen Miljöklassad Byggnads Tekniska Råd. Boverket mars 2010.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. *Global Methodology for Sustainability Assessment: Integration of Environmental ACV in Rating Systems. International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”*. Dresden, Germany: October. Cost Action C25., 2008 a, p. 2.3-2.14

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. New Approach to Environmental Life-cycle Analysis in Sustainability Rating Systems. Proceedings of the International Conference “CINCOS’08: Congresso de Inovação na Construção Sustentável”. Curia, Portugal: October, 2008b., p. 331-345.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. 2012. *Life-cycle analysis of buildings: environmental impact of building elements*. iISBE Portugal, 2012.

BRAGANÇA, L.; VIEIRA, S.M.; ANDRADE, J. Early stage design decisions – the way to achieve sustainable buildings at lower costs. *The Scientific World Journal*, Volume 2014, Article ID 365364, 2014, (Print), <http://dx.doi.org/10.1155/2014/365364>

BRE Global. *BREEAM New Construction*. Technical Manual. Non-domestic Buildings. London: BRE Global, 2014.

BRE Global. 2016. BREEAM International New Construction 2016 [Online]. United Kingdom: BRE Global. Disponível em: <http://www.breeam.com/new-construction>. Acesso em: set. 2016.

BRONIEWICZ, M. *Survey of sustainable approaches in Poland. International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”*. Dresden, Germany: October. Cost Action C25.2008. p 2.56 – 2.60.

CASTRO, M.F.; MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. A critical analysis of building sustainability assessment methods for healthcare buildings. *Environment, Development and Sustainability*, v. 17, n: 6, p 1381-1412, 2015.

CC 2001. IPCC Third Assessment Report. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Disponível em: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/

CML 2001. CML 2 baseline 2000. Characterization factors of the Institute of Environmental Sciences (CML) – V2.04. Leiden University: Leiden, Netherlands.

COLE RJ. Emerging trend in building environmental assessment methods. *Building Research and Information*; 1998: 26. pp 3-16.

DIAZ-BALTEIROL, ROMERO C. In search of a natural systems sustainability index. *Ecological Economics*; 2004: 49, p 401-405.

DING, G.K.C. Sustainable construction – the role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 2008: 86, p. 451-464.

DGGE. 2005. Caracterização Energética Nacional. Direção Geral de Geologia e Energia. Disponível em: <http://www.dgge.pt>. Acesso em 12 nov. 2007.

ENDO, J., MURAKAMI, S., TOSHIHARU, I. 2009. *Common Ground, Consensus Building, and Continual Improvement: Standards and Sustainable Building (STP1503)*, p. 63-73. Disponível em: <http://md1.csa.com/partners/viewrecord.php?requester=gs&collection=TRD&recid=200903300041484CE&q=Endo%3B+Junko%2C+CASBEE&uid=1151006&setcookie=yes>. Acesso em: 10 nov. 2010.

ERLANDSSON M., BORG, M. Generic ACV-methodology for buildings, constructions and operation services – today practice and development needs. *Building and Environment*, 2003: 38, p. 919-938.

FRISCHKNECHT, R., JUNGBLUTH, N. Implementation of Life-cycle Impact Assessment Methods, final report ecoinvent 2000, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2013.

GBI. ACV Made Easy with Green Globes and the Athena EcoCalculator for Assemblies. Green Building Institute. Disponível em: retrieved from <http://thegbi.org/news>.

GERVÁSIO, H., SIMÕES DA SILVA, L., MATEUS, R., BRAGANÇA, L., Survey of sustainable approaches in Portugal, Proceedings of Seminar: “Sustainability of Constructions: Integrated approach to Life-time Structural Engineering”, Dresden, October 06 – 07, 2008, pp 2.61 – 2.70.

GIARMA, C.S., KOIMTSIDOU, T.K. Environmental assessment of an office building with the use of the GBC method. Diploma Thesis in the Department of Civil Engineering of Aristotle University of Thessaloniki (in Greek), Thessaloniki, 2002.

GIARMA, C., BIKAS, D. Towards the effective use of a modified version of GBTool for the environmental performance assessment of buildings in Greece. Proc. of International Conference SD04MED:

“Sustainable Construction: action for Sustainability in the Mediterranean region”, Athens, June 09-11, 2005, Conference CD.

GIARMA, C., BIKAS, D., KONTOLEON, K.J. Virtual office in Greece: a first approach to sustainability issues, International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”. Dresden, Germany: October. Cost Action C25. 2008, p 5.9 – 5.17.

GLAUMANN M, MALMQVIST T, SVENFELT Å, CARLSSON PO, ERLANDSSON M, ANDERSSON J, WINZELL H, FINNVEDEN G, LINDHOLM T, MALMSTRÖM T-G. *Miljöklassning av byggnader. Slutrapport* April 2008. Boverket April 2008.

GLAUMANN, M., ASSEFA, G., BORG, R.P. *Guidelines Basic ACV application. Residential building case study – Gronskar, Sweden, International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”*. Dresden, Germany: October. Cost Action C25. 2008. p.: 5.18 – 5.26.

GLAUMANN, M., WALLHAGEN, M. Survey of sustainable approaches in Sweden. International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”. Dresden, Germany: October. Cost Action C25. 2008. p 2.78 – 2.95.

GOWRI, K. Green Building rating systems: an overview. *ASHRAE Journal*, 2004: 46 (11): 56-59.

GRECEA, D., UNGUREANU, V. *Survey of sustainable approaches in Romania. International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”*. Dresden, Germany: October. Cost Action C25. 2008. p 2.71 – 2.77.

GREGORY, A. NORRIS. The ACV-into-LEED Project: Progress Summary and Work Plan. Disponível em: http://www.therightenvironment.net/Downloads/Progress_Summary_ACV-into-LEED_11-05-07.pdf.

HAPIO A., VIITANIEMI P. A critical review of environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, n 28, p 469-482, 2008.

IBEC. *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE)*. Disponível em: www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm. Acesso em: 9 dez. 2010.

IBEC. *Background of the Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE)*. Disponível em: www.ibec.or.jp/CASBEE/english/backgroundE.htm. Acesso em: 9 nov. 2010.

IBEC. *Overview about the Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE)*. Disponível em: www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm Acesso em: 9 dez. 2010.

iiSBE. 2004. An overview of the GBC method and GBTool.

INAG 2004. Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água – Versão Preliminar (in portuguese). Instituto da água, 150 p.

INE 2001. Recenseamento Geral da Habitação – Censos 2001. Instituto Nacional de Estatística (in portuguese)

KAHRAMAN, I. Survey of sustainable approaches in Turkey. International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”. Dresden, Germany: October. Cost Action C25. 2008. p 2.96 – 2.102.

KIBERT, CHARLES J. *Sustainable construction: green building design and delivery*, John Wiley & Sons, New Jersey, United States of America, 2005.

KONTOLEON, K.J., BIKAS, D., GIARMA, C. *Survey of sustainable approaches in Greece. International Seminar “Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering”*. Dresden, Germany: October. Cost Action C25. 2008. p 2.44 – 2.50.

LARSSON N. An overview of SBTool September 2007 Release, Disponível em: <http://greenbuilding.ca>

LIPPIAT, B.C. BEES 3.0, Building for Environmental and Economic Sustainability. Technical Manual and User Guide, National Institute of Standards and Technology.

MALMQVIST T, GLAUMANN M, SVENFELT Å, CARLSON P-O, ERLANDSSON M, ANDERSSON J, WINTZELL H, FINNVEDEN G, LINDHOLM T AND MALMSTRÖM TG. A Swedish Environmental Rating Tool for Buildings. Accepted for publication in *Energy* (special issue for Dubrovnik conference 2009).

MANSO A., FONSECA M., ESPADA, J. Informações sobre custos – Fichas de rendimentos Volume 1 e 2. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Lisboa, 2004.

MATEUS, R.; BRAGANÇA, L.; KOUKKARI, H. Sustainability Assessment and Rating of Portuguese Buildings. International Conference “World SB08 Melbourne – Connected, Viable, Liveable”. Melbourne, Australia: September, 2008.

MATEUS, R. Avaliação da Sustentabilidade da Construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis. PhD Thesis. University of Minho, Portugal, 2009.

MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. Sustainability Assessment and Rating of Buildings: Developing the Methodology SBTool^{PT}-H, Building and Environment, Volume 46, Issue 10, October 2011, Pages 1962-1971.

MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. *Guia de Avaliação SBTool^{PT}-H (V2015.2)*. Edições iisBE Portugal: Guimarães. 2015.

PRé consultants, 2007. Introduction to ACV with SimaPro 7.

Pré-consultants 2010. SimaPro 7. LCA software version 7.2. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology Consultants.

ROODMAN, D. M.; LESSEN, N. A Building Revolution: how ecology and health concerns are transforming construction. *Worldwatch Paper*, 2005: 124, 67p.

SCLCI 2010. Ecoinvent v2.2 data. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. St-Gallen, Switzerland.

SUNDKVIST Å, ERIKSSON O, GLAUMANN M BERGMAN S, FINNVEDEN G, STENBECK S, WINZELL H. *Miljöklassning av byggnader – Inventering av metoder och intressenternas behov*. TRITA-INFRA-FMS 2006:1

SYPHERS, G.; BAUM, M.; BOUTON, D.; SULLENS, W. Managing the Cost of Green Buildings. State of California – State and consumer services agency. October, 2003.

TSIKALOUDAKI, K., GIARMA, C. Investigating the impact of urban context on the environmental performance of buildings Proc. of International Conference SD04MED: “Sustainable Construction: action for Sustainability in the Mediterranean region”, Athens, June 09-11, 2005, Conference CD.

USGBC 2001. LEED, Leadership in Energy and Environmental Design, Rating System, version 2.0.

USGBC 2009a. Getting ACV into LEED: A back grounder on the first ACV pilot credit for LEED, Disponível em: <http://www.usgbc.org/LEED>.

USGBC 2014. LEED v4 for Building Design and Constructuin, Disponível em: <https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-checklist>.

CAPÍTULO 10

PAINÉIS MODULARES PRÉ-FABRICADOS NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA: CONTRIBUTO PARA EDIFÍCIOS NZEB

MANUELA ALMEIDA; RICARDO BARBOSA¹⁰
UNIVERSIDADE DO MINHO

RESUMO

A reabilitação energética de edifícios é cada vez mais apontada como uma necessidade urgente no caminho do desenvolvimento sustentável dos meios urbanos. No entanto, devido à existência de barreiras a vários níveis (técnicos, económicos e outros), não foi ainda possível fazer uma abordagem sistemática ao edificado existente. É, por isso, urgente o desenvolvimento de soluções com carácter rentável e com um elevado potencial de adoção por parte dos principais atores envolvidos nas decisões relativas à reabilitação dos edifícios. Neste contexto, as soluções pré-fabricadas modulares podem trazer grandes oportunidades como a redução de custos e de tempos de intervenção, ao mesmo tempo que aumentam a qualidade e a eficiência energética dos edifícios.

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de um protótipo de um painel modular pré-fabricado para aplicação na fachada de edifícios com o objetivo de reduzir significativamente as suas necessidades energéticas e que foi realizado no âmbito do projeto More-Connect financiado por verbas Europeias. O capítulo discute ainda a rentabilidade da aplicação deste painel no âmbito de uma reabilitação integrada num edifício piloto em Vila Nova de Gaia na zona metropolitana do Porto em Portugal. A rentabilidade desta solução é avaliada com recurso a uma metodologia de determinação do custo-ótimo que possibilita a análise e avaliação do impacto em termos energéticos e económicos de diferentes combinações de medidas de reabilitação a nível da envolvente juntamente com a utilização de sistemas de climatização e AQS (Águas Quentes Sanitárias) e soluções que permitam o aproveitamento de energia renovável.

¹⁰ E-mail: malmeida@civil.uminho.pt; ricardobarbosa@civil.uminho.pt

INTRODUÇÃO

A reabilitação energética possui uma importância determinante no caminho para um desenvolvimento sustentável em todo o mundo e, em particular, nos centros urbanos. Globalmente, o sector dos edifícios é responsável por uma parte muito significativa das emissões de carbono associadas ao uso de energia (EEA, 2017) e o fraco desempenho térmico da envolvente dos edifícios existentes conduz a grandes consumos de energia de modo a se conseguir garantir condições mínimas de conforto. Os edifícios existentes são por isso um dos grandes responsáveis por essas emissões de carbono (Fraunhofer ISI, 2009). Portugal não é exceção e possui um vasto parque edificado com um nível de deterioração elevado (INE, 2011) e a necessitar de reabilitação. Para além disso, o edificado existente em Portugal é também fortemente marcado por uma regulamentação anterior onde as preocupações com a eficiência energética e as emissões de carbono não assumiam a importância que o mundo atual exige e por isso apresenta, em geral, um mau desempenho energético.

Em contextos como o edificado português, a implementação de estratégias adequadas de reabilitação destes edifícios pode contribuir para o alcance das metas propostas a nível da União Europeia relativamente à redução do consumo energético e das emissões de carbono (metas para 2020, 2030 e 2050) (EC, 2011). Neste sentido, a revisão da regulamentação europeia ratificada, em particular no que concerne à diretiva europeia de desempenho energético dos edifícios, EPBD (EU, 2010), veio introduzindo, ao longo das suas versões, exigências de comportamento energético cada vez mais elevadas. A última revisão deste documento (ocorrida em 2010) introduziu o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB – nearly zero energy buildings), inicialmente dirigido aos edifícios novos construídos a partir de 2020 mas depois estendido também aos edifícios existentes. O conceito implica que os edifícios tenham uma elevada eficiência energética e que as necessidades energéticas possam ser asseguradas, pelo menos parcialmente, por fontes de energia renovável, situadas no próprio edifício ou nas proximidades.

Para que os edifícios existentes cumpram também estas exigências, as soluções de reabilitação terão que promover reduções significativas das necessidades energéticas e o aproveitamento, sempre que possível, de energia renovável. O enquadramento dado pela diretiva pressupõe também que o elevado desempenho energético do edifício seja garantido de modo a que seja compatível com os níveis de viabilidade económica resultantes da aplicação da metodologia do custo ótimo (CE, 2012), definindo-se o nível ótimo de rentabilidade como o desempenho energético em termos de energia primária que conduz ao menor custo global¹¹ durante todo o ciclo de vida do edifício.

¹¹ O custo global engloba os custos de investimento, os custos associados à energia gasta em 30 anos e os custos de manutenção.

Apesar da urgência desta ação, ainda não foi possível mover esforços no sentido de uma abordagem sistemática que permita uma reabilitação energética do edificado em larga escala, sendo que as razões são várias e de diferentes naturezas e têm vindo a ser apontadas na literatura (CAPUTO; PASETTI, 2015; DOWSON; POOLE; HARRISON; SUSMAN, 2012). No entanto, no que diz respeito à intervenção no edifício, importa fundamentalmente referir duas perspetivas. Em primeiro lugar, o processo de reabilitação em si é complexo e envolve múltiplas ações e atores com diferentes especializações e com competências que têm que ser compatibilizadas para a sua conclusão, o que contribui para um risco acrescido de ocorrência de falhas e de custos não planeados. Esta questão é também importante para entender a hesitação dos proprietários e investidores em reabilitar um determinado edifício. Estes optam muitas vezes por soluções apoiadas em sistemas com altos custos de operação em detrimento de soluções que exigem um maior investimento inicial numa renovação mais profunda mas com resultados de retorno apenas a longo prazo. Estes investimentos são percecionados como rodeados de um grau de incerteza muito significativo. Em segundo lugar, o mercado da construção é comandado por uma lógica *top-down* no que respeita à oferta existente com uma discrepância muito grande entre os produtos oferecidos e as necessidades e capacidade económica dos utilizadores finais dos edifícios.

Assim, à escala do edifício, é imperativo ultrapassar estes desafios. Devido à natureza multidimensional do problema, será necessário uma combinação de inovação de produto, de inovação de processos e de inovação na abordagem ao mercado, sendo que a otimização entre o desempenho e os custos é também crucial. Nesta linha de pensamento, as soluções pré-fabricadas modulares na renovação de edifícios são um caminho a ser explorado. Existem já vários estudos que se focam no desempenho de soluções modulares para a execução de obras e intervenções nZEB (e.g. KALAMEES; PIHELO; KUUSK, 2017; MØRCK, 2017; SILVA; ALMEIDA; BRAGANÇA; MESQUITA, 2013) e é reconhecido a este tipo de soluções, potencial para uma otimização de processos de fabrico e conseqüente redução de custos, assim como para a redução de tempos de intervenção e distúrbios causados aos utilizadores dos edifícios, ao mesmo tempo que aumenta a qualidade e a eficiência energética das edificações.

No entanto, interessa aprofundar a viabilidade de implementação deste tipo de solução nos mais variados contextos construtivos e climas, numa perspetiva de assegurar edifícios com necessidades quase nulas de energia, o que pressupõem uma otimização das medidas de eficiência energética e de uso de energia renovável. Por outro lado, interessa integrar e comparar este tipo de soluções com outras opções de reabilitação que incluam medidas de intervenção na envolvente e de utilização de sistemas de climatização e AQS utilizados no contexto construtivo e que apresentem um binómio custo/eficácia vantajoso, considerando todo o ciclo de vida do edifício (ALMEIDA; FERREIRA, 2017). Estas opções de reabilitação energética com carácter rentável estão associadas a reduções significativas das necessidades energéticas nos edifícios (BPIE, 2010) e têm, dadas as suas características, um elevado potencial de adoção por parte dos principais atores envolvidos nas decisões relativas à sua renovação.

Neste contexto, este capítulo apresenta uma solução modular prefabricada de reabilitação de fachadas desenvolvida no âmbito do Projeto More-Connect e discute a sua aplicação do ponto de vista de rentabilidade, comparando várias alternativas de soluções de reabilitação usando como campo de estudo e análise um edifício piloto em Vila Nova de Gaia, na zona metropolitana do Porto.

O PROJETO DE INVESTIGAÇÃO MORE-CONNECT

O projeto More Connect (<http://www.more-connect.eu/>), financiado pela Comissão Europeia, tem um consórcio constituído por 18 parceiros de vários países europeus, sendo que metade dos parceiros pertence ao sector industrial e asseguram, entre outras competências, a construção de protótipos de soluções modulares funcionais e a sua implementação em contextos reais. A implementação das soluções desenvolvidas em contextos reais é uma questão distintiva deste projeto que inclui o desenvolvimento e aplicação de soluções para seis casos de estudo em seis países diferentes. O projeto inclui participantes de países tão variados como a Holanda, a Dinamarca, a Estónia, a Letónia, a República Checa, Suíça e Portugal e as soluções desenvolvidas são específicas e coerentes com a realidade, clima e mercados nacionais. Em comum, os parceiros do projeto têm como objetivos o desenvolvimento de soluções modulares pré-fabricadas de fachada e/ou cobertura que permitam: i) em conjugação com a aplicação de sistemas de climatização e AQS eficientes e de sistemas de aproveitamento de energia renovável, alcançar edifícios com necessidades energéticas quase nulas (nZEB) ou nulas (ZEB), numa perspetiva de rentabilidade económica; ii) o retorno do investimento num prazo inferior a 8 anos e iii) um tempo total de execução da obra a variar entre 2 e 5 dias. Em Portugal, o projeto desenvolve-se no Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC) da Universidade do Minho e inclui a reabilitação de um edifício multifamiliar que se encontra sob a gestão da empresa municipal Gaiurb.

O EDIFÍCIO CASO DE ESTUDO EM PORTUGAL

No caso do contexto real português, o edifício em causa está localizado no Norte de Portugal, mais concretamente em Vila Nova de Gaia, na zona metropolitana do Porto. O clima do Porto é temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente, com uma temperatura média que varia entre os 9.5 e os 20.8 °C (IPMA, 2018).

As temperaturas mais baixas são geralmente registadas em Janeiro (por volta dos 5 °C) e as mais altas em Agosto (podendo atingir os 40 °C).

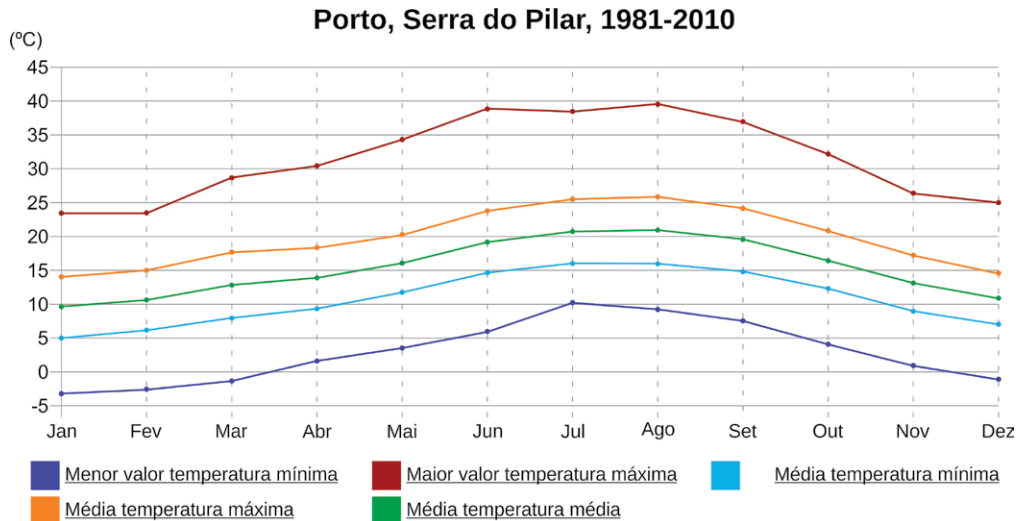


Figura 1 - Temperatura do ar no Porto- normais climatológicas - valores mínimos e médio.

Fonte: IPMA, 2018.

O regulamento português relativo ao desempenho energético de edifícios de habitação (REH) classifica o concelho do Porto como pertencente à zona climática de Inverno I2, com 1610 graus dias de aquecimento, e zona climática de Verão V1 (muito ameno) (REH, 2013).

O edifício foi construído em 1997, num contexto de habitação social e pode, por isso, ser enquadrado no tipo de construção a custos controlados (Figura 2). O edifício é composto por três blocos de apartamentos orientados de acordo com o mostrado na Figura 3, cada um com três pisos e dois apartamentos por piso, perfazendo no total 18 apartamentos. Com seis apartamentos por bloco, cada piso tem um apartamento com 2 quartos e outro com 3 quartos. Os apartamentos com 3 quartos têm uma área aproximada de 80 m² e os de dois quartos de 60 m² (Figura 4).



Figura 2 - O edifício caso de estudo em Vila Nova de Gaia, Porto, Portugal.

Fonte: autoria própria.

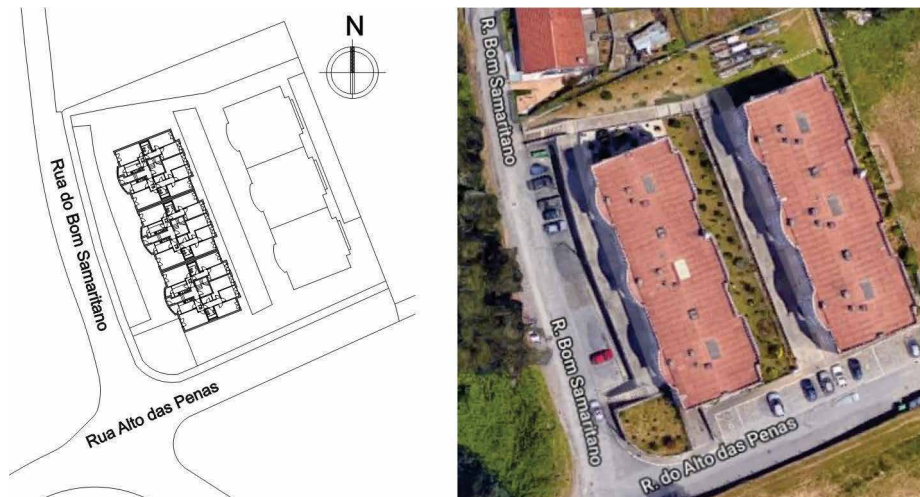


Figura 3 - Orientação do edifício e vista aérea.

Fonte: autoria própria.

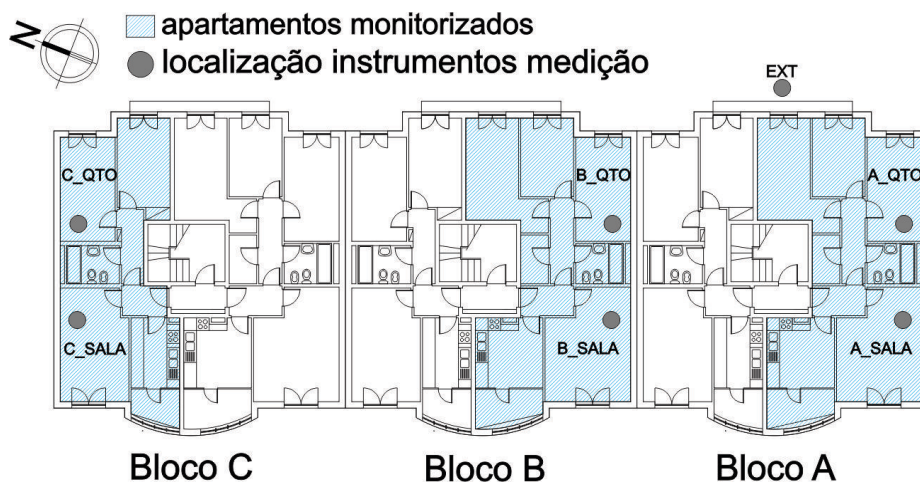


Figura 4 - Planta tipo

Fonte: elaboração própria.

Para além dos apartamentos, o edifício alberga ainda um pequeno espaço não utilizado no sótão e uma garagem, que é utilizada exclusivamente para arrumação. Do ponto de vista construtivo, o edifício é composto por uma estrutura porticada em betão armado, com lajes aligeiradas com 25 cm de espessura total. A envolvente é constituída por paredes duplas de tijolo (15cm+11cm) com um espaço de ar não preenchido com isolamento. As janelas são de alumínio com vidro duplo e dotadas de estores exteriores em PVC. A cobertura é inclinada e constituída por uma laje de esteira com 20 cm com 3 cm de isolamento térmico em poliestireno expandido. O revestimento é em telhas cerâmicas. As características deste edifício, nomeadamente em termos de tipologia e características dos elementos construtivos, aproximam-no de uma representatividade de cerca de 40% do edificado multifamiliar português. A Tabela 1 apresenta as principais dimensões e características do edifício.

Internamente, os espaços estão divididos com paredes simples de tijolo com 11 cm de espessura e os espaços interiores têm um pé-direito de 2,5m.

O edifício se apresenta num estado razoável de conservação, apesar de apresentar anomalias normalmente associadas à falta de isolamento térmico e de ventilação dos espaços. Em particular, as partes comuns do edifício apresentam sinais consideráveis de presença de humidade. No interior dos apartamentos foram também encontradas zonas significativas de bolor associadas a humidade de condensação, nomeadamente nos cantos das divisões e junto às janelas. Áreas extensivas de bolor podem também ser encontradas nos tetos de alguns quartos dos apartamentos, assim como nas instalações sanitárias.

Tabela 1 - Dimensões e características do edifício caso de estudo em Vila Nova de Gaia

Parâmetro	Unid	Valor	Parâmetro	Unid.	Valor
Área de Implantação	m ²	582.18	Coeficiente U Paredes	W/(m ² *K)	0.96
Área de paredes (excluindo janelas)	m ²	2712.20	Coeficiente U Pavimento Sótão	W/(m ² *K)	0.91
Área da cobertura (inclinada)	m ²	514.00	Coeficiente U Teto Garagem	W/(m ² *K)	0.78
Área da garagem	m ²	514.00	Coeficiente U Janelas	W/(m ² *K)	3.60
Área aquecida	m ²	1265			
Área de janelas a Norte	m ²	0	Fator Solar das Janelas	Fator	0.78
Área de janelas a Este	m ²	21.50	Necessidades anuais de arrefecimento (calculadas)	kWh/m ²	2.20
Área de janelas a Sul	m ²	0	Necessidades anuais de energia para águas quentes sanitárias (calculadas)	kWh/m ²	29.60
Área de janelas a Oeste	m ²	10.60	Necessidades anuais de aquecimento (calculadas)	kWh/m ²	53.00

Fonte: elaboração própria.

No que toca a sistemas técnicos, nenhum sistema centralizado serve os 18 apartamentos que constituem o edifício. No entanto, alguns dos apartamentos têm equipamentos individuais de climatização, como aquecedores elétricos.

O edifício tem vindo a ser sujeito a uma campanha extensiva de monitorização, desde Março de 2016, que engloba os mais importantes parâmetros relacionados com as condições interiores. Assim, em três apartamentos por piso foram colocados aparelhos de medição com capacidade para recolher leituras relativas a temperatura, humidade e concentração de CO₂ (conforme indicado na Figura 4). Para além desta monitorização contínua, foram realizadas ainda campanhas pontuais de

medição com o intuito de recolher informação sobre as condições de iluminação natural, temperatura superficial (termografia), infiltração do ar nas habitações, isolamento acústico e concentração de PM10. As medições efetuadas realçam as necessidades de reabilitação do edifício, nomeadamente no que concerne à correção das pontes térmicas (Figura 5). As medições também permitiram uma avaliação das condições de conforto térmico no interior dos apartamentos, onde é patente a quantidade significativa de horas em que as temperaturas se encontram fora do intervalo considerado como aceitável pela legislação portuguesa (20-25 °C) com particular incidência nos apartamentos com fachadas expostas (e portanto com mais perdas de calor) e no último piso (Figura 6).



Figura 5 – Termografia na fachada sul do edifício

Fonte: elaboração própria.

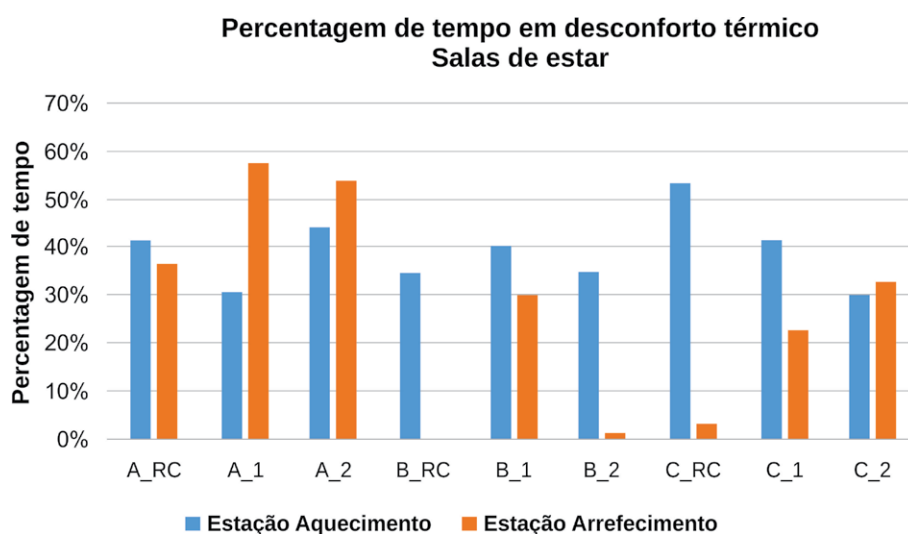


Figura 6 – Percentagem de tempo fora do intervalo das temperaturas de conforto

Fonte: elaboração própria.

DESENVOLVIMENTO E TESTE DO PROTÓTIPO DO PAINEL MODULAR

Conforme já foi indicado, as soluções adotadas no âmbito do projeto de investigação são adaptadas a cada contexto nacional. A solução de reabilitação energética que está a ser estudada no contexto português consiste no desenvolvimento de um painel modular pré-fabricado para ser aplicado na fachada do edifício e que vai ser implementado no contexto de uma reabilitação integrada do edifício que contempla ainda a colocação de isolamento térmico na laje de teto da garagem e na laje de esteira da cobertura, assim como a instalação de um sistema centralizado de climatização a funcionar com biomassa. O painel modular, com $21,2 \text{ kg/m}^3$ e 12 cm de espessura total, foi desenhado para ser construído com materiais de impacto ambiental reduzido durante o seu ciclo de vida, tanto em termos de energia como de emissões de carbono produzidas, e com o objetivo de contribuir para que o edifício reabilitado se qualifique como tendo necessidades quase nulas de energia (Figura 7).

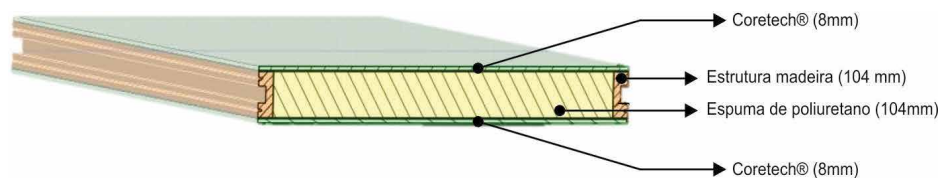


Figura 7 - Composição do painel

Fonte: elaboração própria.

Assim, embora durante o processo de desenho, outros materiais (nomeadamente o alumínio) tivessem sido considerados, pelo seu uso generalizado em estruturas pré-fabricadas em Portugal, foi decidido que a estrutura do módulo seria em madeira. Este material, para além das suas excelentes propriedades térmicas, apresenta características fundamentais para os objetivos do projeto, como sendo o baixo impacto ambiental.

O revestimento do painel é constituído por Coretech®. Coretech® é um material reciclado a partir de resíduos da indústria automóvel a partir de materiais como papel kraft, espuma de poliuretano, tecido e fibra de vidro. Apresenta características atrativas para o projeto, como alta durabilidade, baixa permeabilidade à água e alta resistência ao fogo, para além de um bom desempenho térmico (Coretech, 2018). Embora não seja amplamente utilizado no sector da construção em Portugal, podem ser encontrados vários exemplos aplicados, nomeadamente em isolamento de edifícios e revestimentos exteriores. Este material pode também ser revestido com uma variedade grande de materiais, como tintas, material cerâmico, entre outros, o que o torna atrativo para a personalização do acabamento.

O painel é composto ainda de uma camada interior em espuma de poliuretano injetado para garantir um isolamento térmico adequado. O material foi escolhido devido à sua durabilidade e alto desempenho térmico. De modo a prevenir potenciais pontes térmicas e criar uma interface

entre a parede existente e o painel, foi considerada ainda a adição de uma camada de lã mineral, capaz de absorver as irregularidades da superfície da parede existente do edifício. Esta camada tem também como objetivo melhorar o desempenho energético da solução.

A ligação entre os vários painéis é feita através de uma conexão macho-fêmea na estrutura de madeira. O painel poderá ser colocado em várias configurações e tamanhos, de modo a melhor se adaptar a cada edifício. No edifício caso de estudo, os painéis a aplicar têm 10.00 m de altura por 2.40 m de largura.

Com o apoio dos parceiros industriais portugueses (DarkGlobe e Electrofer), foram desenvolvidos protótipos funcionais do painel com 2.55 m de altura por 1.00 m de largura (Figura 8) de modo a poderem ser testados no Laboratório de Física e Tecnologia das Construções do departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Neste Laboratório foi montada uma instalação experimental com quatro destes módulos de modo a testar as suas características com o auxílio de uma câmara térmica. Assim, foi possível a monitorização do desempenho térmico através de ensaios experimentais, com o auxílio de termopares, utilizados para medições de temperaturas superficiais, e fluxímetros para a medição dos fluxos de calor nas várias zonas dos módulos, diferenciando zonas correntes (centrais) e zonas de junta de ligação entre painéis (Figura 9).



Figura 8 - Protótipo do painel modular

Fonte: Electrofer, 2018.

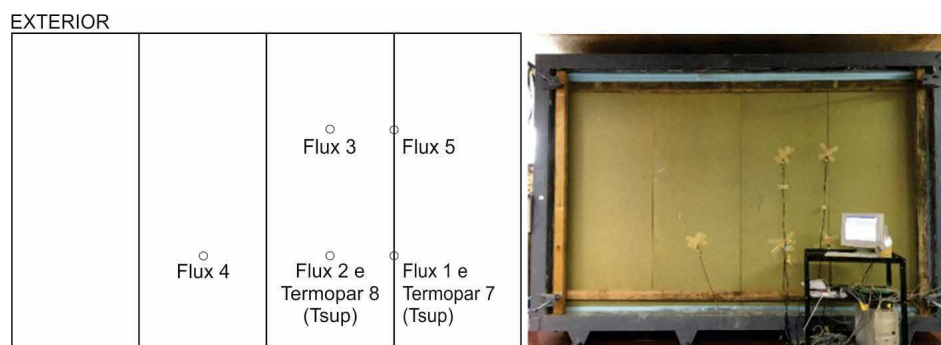


Figura 9 – Montagem de protótipo na câmara térmica com indicação da localização dos instrumentos

Fonte:elaboração própria.

A experiência permitiu verificar que a temperatura superficial no painel é diferente conforme se analise a zona corrente ou a zona de ligação entre painéis (Figura 10). Verificou-se ainda, conforme indicado na Figura 11 e na Figura 12, que o fluxo de calor é cerca de três vezes superior na zona da junta do que na zona corrente, o que sugere uma perda de energia significativa na zona de ligação entre os módulos, evidenciando claramente a existência de uma ponte térmica.

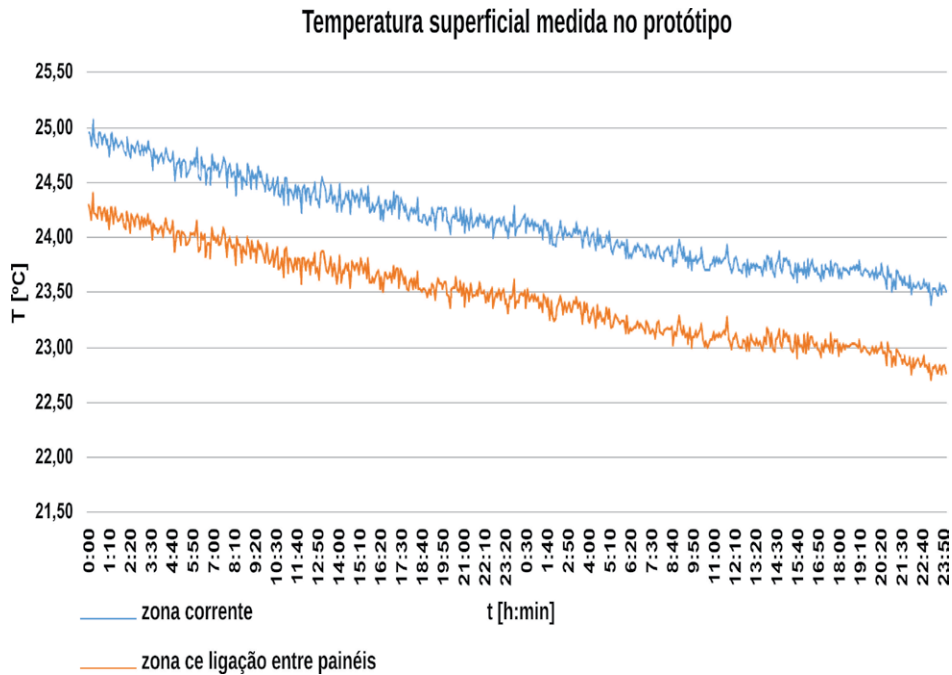


Figura 10 - Temperatura superficial (°C) medida na zona corrente e na zona de ligação entre painéis ao longo de 48h de ensaio

Fonte: elaboração própria.

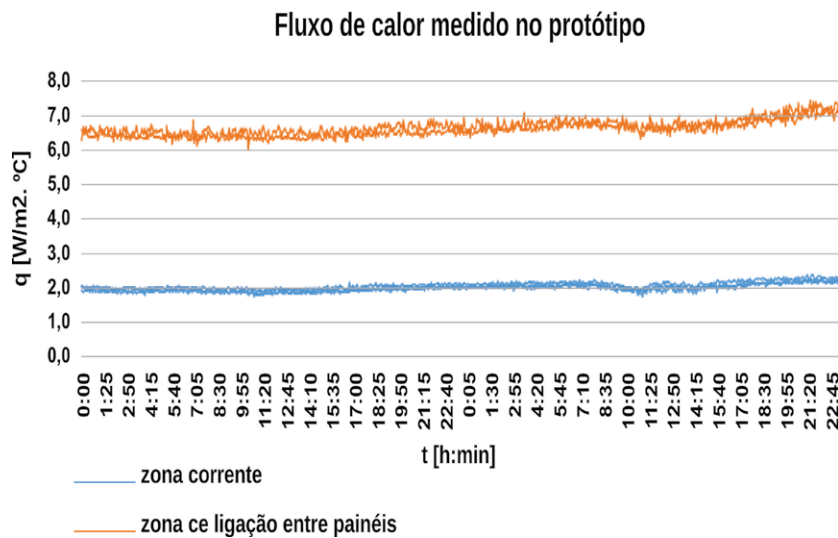


Figura 11 - Fluxo de calor medido no protótipo ao longo de 48 horas de ensaio na zona corrente e na zona de ligação entre painéis

Fonte: elaboração própria.

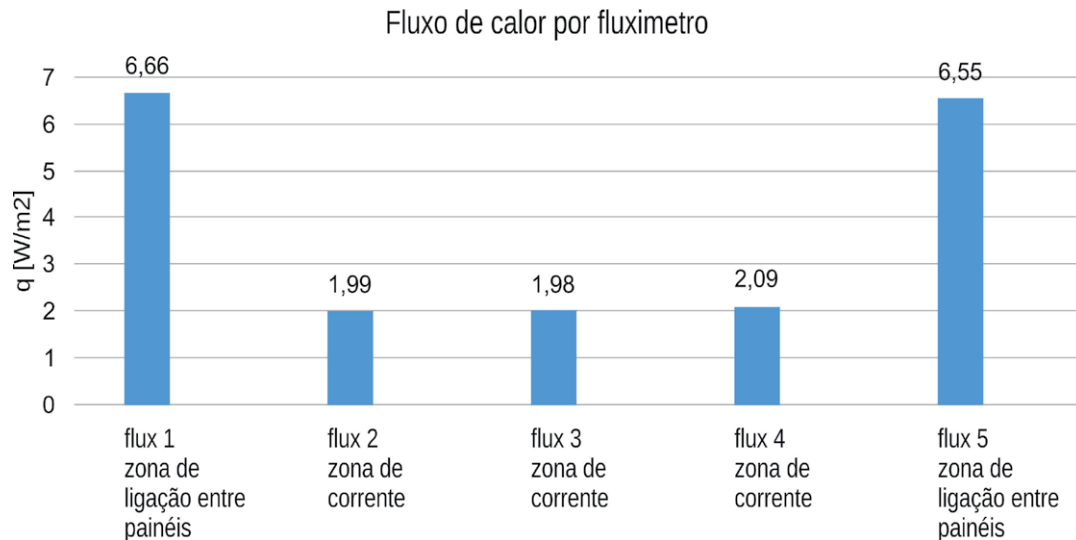


Figura 12 – Fluxo de calor que atravessa o módulo para as diferentes posições dos fluxímetros

Fonte: elaboração própria.

A monitorização do protótipo e, em particular, a determinação dos fluxos de calor e temperaturas superficiais, permitiu determinar a resistência térmica (Re) e o coeficiente de transmissão térmica (U), a partir das equações seguintes (INCROPERA; DEWITT; BERGMAN; LAVINE, 2009):

$$Re [m^2 \cdot ^\circ C/W] = \sum \frac{\Delta T}{q} \quad \text{Equação 1}$$

Onde ΔT [$^\circ C$] é a diferença de temperatura num ponto entre o exterior e o interior e q [W/m^2] representa o fluxo de calor que atravessa o módulo.

$$U [W/m^2 \cdot ^\circ C] = \frac{1}{Re} \quad \text{Equação 2}$$

Através destes cálculos foi possível obter o coeficiente de transmissão térmica superficial para a zona corrente e para a zona da junta do módulo, bem como calcular um valor ponderado por módulo. Este valor ponderado foi calculado tendo em conta os coeficientes de transmissão térmica e os respetivos comprimentos da zona corrente e da zona da junta do módulo (Equação 3).

$$U_{ponderado} = \frac{L_{zona da junta} \times U_{zona da junta} + L_{zona corrente} \times U_{zona corrente}}{L_{zona da junta} + L_{zona corrente}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$L_{\text{zona da junta}}$, $L_{\text{zona corrente}}$ – Comprimentos da zona da junta e da zona corrente do módulo, respetivamente [m];

$U_{\text{zona da junta}}$, $U_{\text{zona corrente}}$ – Coeficientes de transmissão térmica da zona da junta e da zona corrente do módulo, respetivamente [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$].

Os cálculos indicam que o protótipo adiciona uma resistência térmica de $3.86 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ao envelope de um edifício (Tabela 2). Os valores da resistência térmica são menores na zona das juntas do módulo do que na zona corrente do módulo, apresentando resistências térmicas 75% menores.

Tabela 2 - Resistência térmica do protótipo

Zona corrente [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]	4,11
Zona junta [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]	1,01
Resistência Térmica Ponderada [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]	3,86

Fonte: elaboração própria.

A monitorização permitiu a obtenção de valores que foram utilizados para validar um modelo numérico que permitiu otimizar o painel, e em particular permitiu determinar as características da camada de isolamento térmico que se prevê colocar entre o painel e a parede existente de modo a absorver as irregularidades entre as duas superfícies. Para esse efeito, foi escolhido o *software* ANSYS (ANSYS, 2018), com recurso à análise de dinâmica de fluidos computacionais que a ferramenta permite. De modo a encontrar a melhor solução para o material de interface entre a parede e o módulo de reabilitação, realizou-se um estudo paramétrico, fazendo variar a espessura e a densidade da lã de rocha.

Para a validação do modelo, simulou-se o comportamento do painel em termos de temperaturas e fluxos térmicos quando submetido a um gradiente de $9 \text{ }^\circ\text{C}$ entre a temperatura interior e a temperatura exterior. A Figura 13 apresenta a evolução das temperaturas tanto para a zona corrente como para a zona da junta ao longo do painel. Estes resultados permitem comparar de forma mais efetiva o comportamento térmico do módulo nas diferentes zonas. De seguida, os resultados obtidos com as medições efetuadas foram comparados com os simulados, tendo sido determinado o erro médio entre os dois valores (Tabela 3).

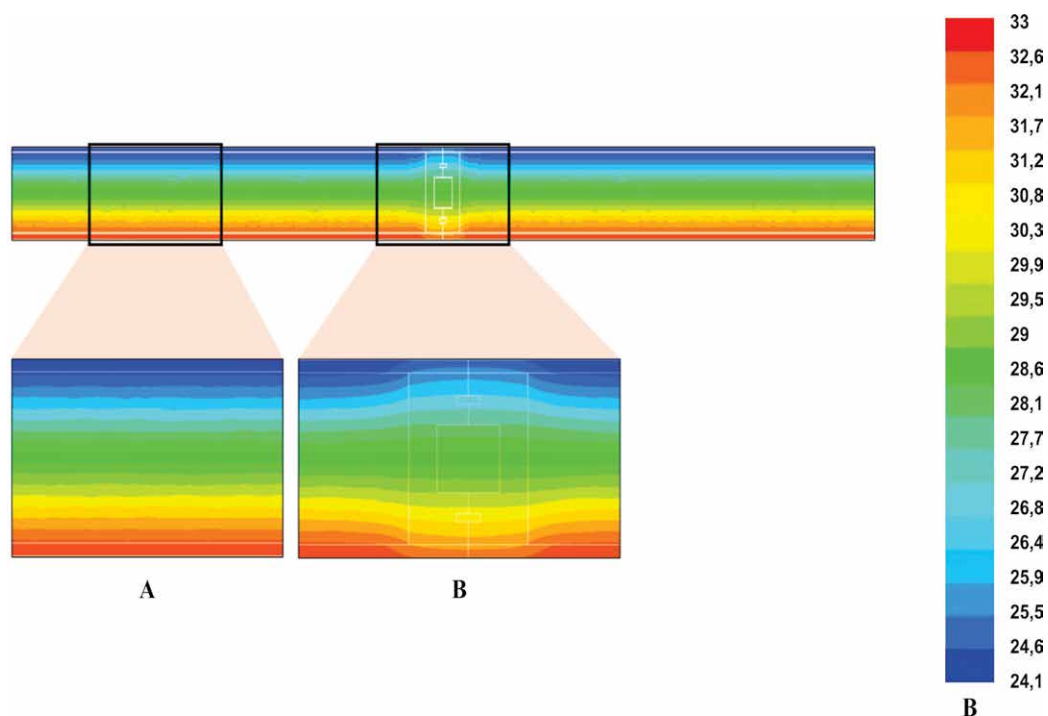


Figura 13 – A) Perfis de temperatura na zona corrente do painel; B) Perfis de temperatura na zona da junta entre painéis; C) Escala de Temperatura (°C)

Tabela 3 – Resultados da validação numérica – erros médios entre o modelo experimental e numérico

	Zona Corrente	Erro médio	Zona da Junta	Erro médio
Temperatura média exterior superficial, pelo modelo numérico	24,3°C	-2,2 %	24,8°C	-1,5 %
Temperatura média exterior superficial, pelo modelo experimental	23,8°C		24,4°C	
Temperatura média interior superficial, pelo modelo numérico	32,1°C	-1,1 %	31,7°C	-2,3 %
Temperatura média interior superficial, pelo modelo experimental	31,7°C		31,0°C	
Fluxo médio, pelo modelo numérico	-2,0 W/m ²	-3,2 %	-6,6 W/m ²	-1,8 %
Fluxo médio, pelo modelo experimental	-1,9 W/m ²		-6,5 W/m ²	
Coefficiente de transmissão térmica, pelo modelo numérico	0,26 W/m ² .°C	7,7 %	0,96 W/m ² .°C	3,0 %
Coefficiente de transmissão térmica, pelo modelo experimental	0,24 W/m ² .°C		0,99 W/m ² .°C	

Fonte: elaboração própria.

Com erros em média, de -1,7 % nas temperaturas, de -3,1 % nos fluxos de calor e de 7,3 % no coeficiente de transmissão térmica, o modelo foi considerado como validado.

Posteriormente, já com o modelo numérico validado, procedeu-se à determinação das características mais adequadas a conferir à camada de isolamento térmico a colocar na interface entre o painel e a parede existente. Para isso, foram analisadas várias opções relativamente à densidade da lã de rocha a utilizar, num intervalo de 25 a 70 kg/m³, e foram consideradas diferentes espessuras, ente 6 e 10 cm. Para cada uma destas situações foram determinados os coeficientes de transmissão térmica global (solução painel mais manta de lã de rocha mais parede existente) na zona da junta e na zona corrente do módulo. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficiente de transmissão térmica da solução “painel + manta de lã de rocha + parede existente” na zona da junta e na zona corrente do módulo para diferentes tipos e espessuras de lãs de rocha e respetivos preços

Solução	Tipo de lã de rocha	Espessura da lã de rocha	U _{junta} (W/m ² .°C)	U _{corrente} (W/m ² .°C)	U _{ponderado} (W/m ² .°C)	Preço (€/m ²)
S0	--	--	0,93	0,25	0,30	--
S1	MN230 (25 kg/m ³)	6 cm	0,48	0,18	0,20	3,22
S2		8 cm	0,42	0,16	0,18	4,22
S3		10 cm	0,38	0,15	0,17	5,46
S4	MN40 (40 kg/m ³)	6 cm	0,48	0,18	0,20	6,29
S5		8 cm	0,42	0,16	0,18	8,53
S6		10 cm	0,37	0,15	0,16	10,77
S7	MN50 (50 kg/m ³)	6 cm	0,47	0,17	0,20	6,58
S8		8 cm	0,41	0,16	0,18	8,98
S9		10 cm	0,37	0,14	0,16	11,38
S10	MN70 (70 kg/m ³)	6 cm	0,46	0,17	0,20	10,50
S11		8 cm	0,41	0,16	0,18	14,00
S12		10 cm	0,36	0,14	0,16	17,50

Nota: A solução S0 corresponde à solução de módulo de reabilitação inicial, sem a aplicação da manta de lã de rocha entre o painel e a fachada existente, e os preços utilizados para cada solução dizem respeito apenas ao custo da manta de lã de rocha.

Os resultados da análise indicam que as soluções que apresentam valores menores relativos ao coeficiente de transmissão térmica ponderado para a solução integrada (painel + lã de rocha + parede existente) são as soluções S6, S9 e S12 ($U = 0,16$ W/m².°C e densidades de lã de rocha de 40, 50 e 70 Kg/m³ respetivamente). No entanto, os custos apresentados para a manta de lã de rocha com 25 kg/m³ são significativamente mais reduzidos e na sua espessura máxima (10 cm), apresenta um coeficiente de transmissão térmica ponderado muito semelhante ($U = 0,17$ W/m².°C). Por este facto se decidiu que as análises subsequentes iriam ser feitas tendo por base a lã de rocha com estas características (25 kg/m³ de densidade).

Outro aspeto importante que é necessário assegurar aquando da otimização do painel prende-se com a necessidade de garantir uma temperatura uniforme nas duas faces do módulo de modo a eliminar ou minimizar o aparecimento de condensações. Dada a reduzida espessura da placa de Coretech® (8 mm), que consiste no revestimento exterior e interior do módulo, é importante assegurar que pelo menos este elemento possua em toda a sua extensão uma temperatura uniforme. A Figura 14 apresenta os perfis de temperaturas obtidos ao longo do módulo para as soluções com lã de rocha com uma densidade de 25 kg/m³ e com 6 cm de espessura (S1), com 8 cm de espessura (S2) e com 10 cm de espessura (S3).

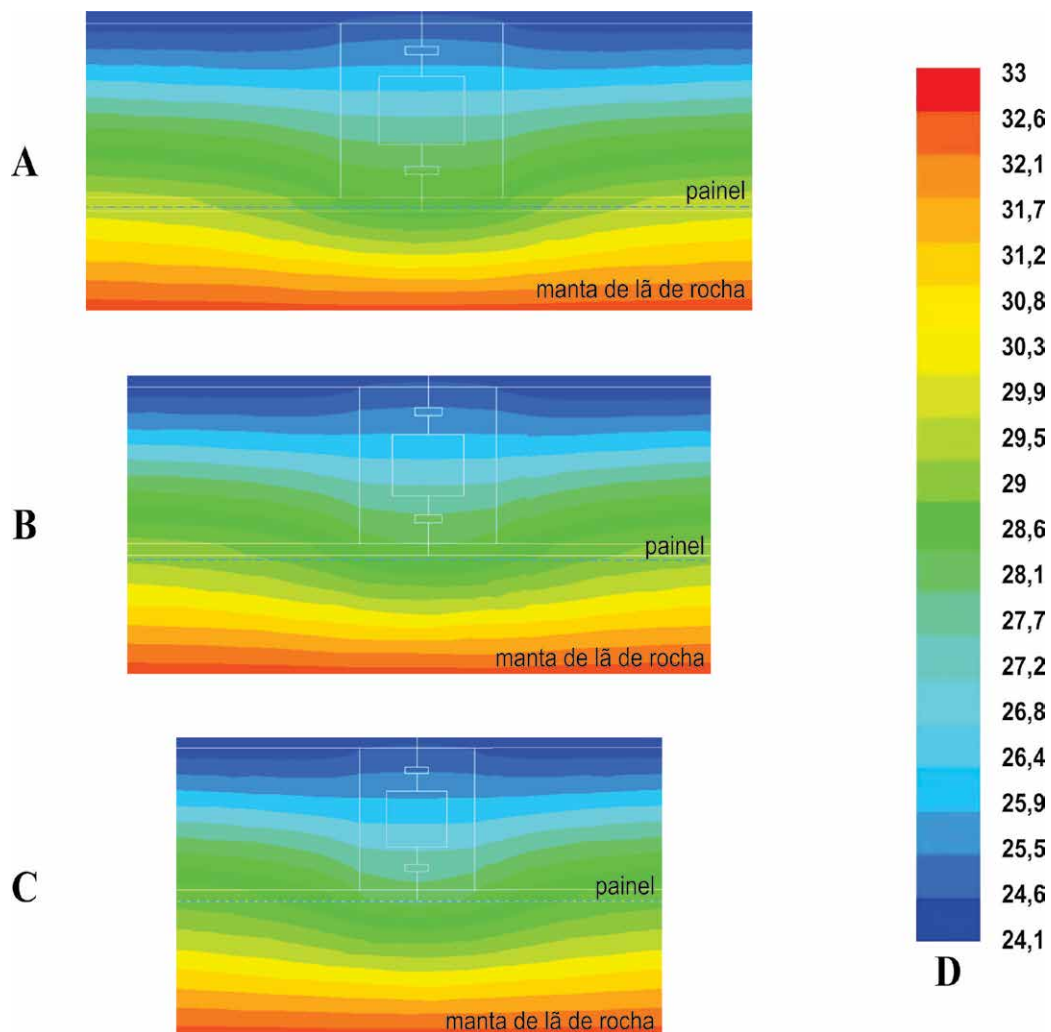


Figura 14 - A) Perfil de temperatura para a solução S1 (6 cm); B) Perfil de temperatura para a solução S2 (8 cm); C) Perfil de temperatura para a solução S3 (10 cm); D) Escala de temperatura (°C)

Fonte: elaboração própria.

A solução S3 (solução com 10 cm de lã de rocha) é aquela que assegura o perfil de temperaturas mais adequado permitindo obter uma maior estabilidade deste parâmetro no material de revestimento do módulo. Assim, a solução final a aplicar no edifício é constituída por

uma manta de lã de rocha com uma densidade de 25 kg/m^3 com 10 cm de espessura e um módulo (com as características atrás indicadas) com 12 cm de espessura. A solução final apresenta resultados melhorados em relação à aplicação de apenas o painel sem a manta de lã de rocha (Figura 15). Com a aplicação da manta de lã de rocha é possível reduzir o valor do coeficiente de transmissão térmica em 45%. Mais significativa é a redução conseguida na zona da junta cujo valor se situa nos 59%.

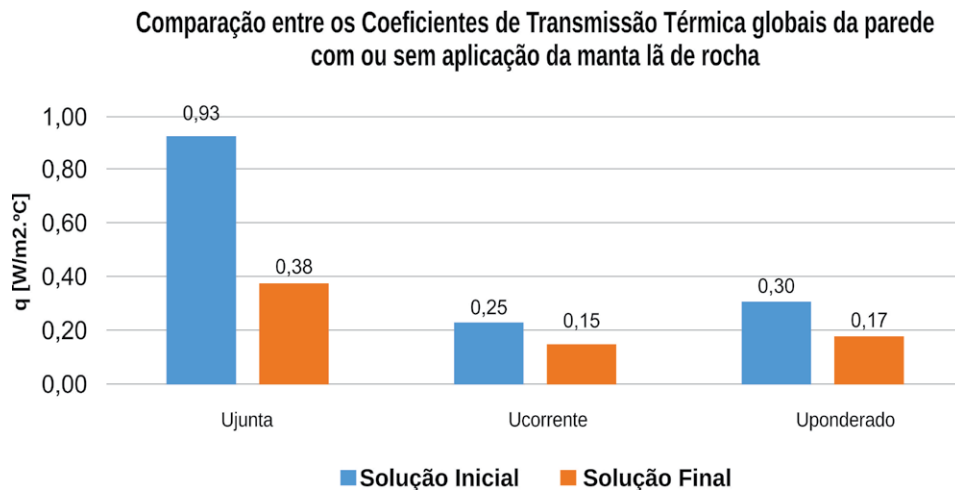


Figura 15 – Coeficientes de transmissão térmica para a solução inicial (S0 – sem a manta de lã de rocha na interface) e para a solução final (com a manta de lã de rocha de 10 cm na interface)

Fonte: elaboração própria.

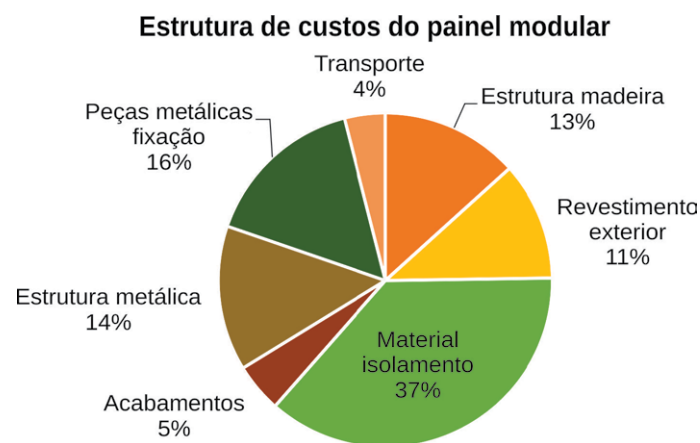


Figura 16 - Estrutura de custos da solução final

Fonte: elaboração própria.

A solução final (painel pré-fabricado + manta de lã de rocha) a aplicar sobre a parede existente (parede dupla de alvenaria de tijolo 15+11) apresenta um coeficiente de transmissão térmica ponderado de $0,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, e apresenta uma estrutura de custos graficamente identificada na Figura 16. Pode-se verificar que o material de isolamento térmico corresponde à maior parcela do investimento no painel modular (37%), seguido das peças necessárias para a fixação e suporte.

SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ALTERNATIVAS - COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADA NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CUSTO-ÓTIMO

Uma vez definida a solução a implementar, e de modo a apoiar a intervenção planeada para o edifício, pretendeu-se ainda avaliar a rentabilidade de medidas que, em conjunto com a aplicação do painel, permitam melhorar o desempenho energético global do edifício e reduzir as necessidades de energia primária não renovável de forma significativa, de modo a aproximar o edifício reabilitado a um edifício nZEB. Para além disso, pretendeu-se também identificar a solução de custo ótimo de acordo com a metodologia definida pela Comissão Europeia através do Regulamento Delegado publicado como complemento da Diretiva Europeia EPBD-recast (CE, 2012). Esta análise permite identificar as opções que apresentam um binómio custo/eficácia mais vantajoso, considerando todo o ciclo de vida do edifício.

Informação detalhada sobre a metodologia usada neste estudo pode ser encontrada em várias referências de literatura científica (e.g. ALMEIDA; FERREIRA, 2017; BARBOSA; ALMEIDA, 2014). Essencialmente, de modo a encontrar a solução de custo ótimo para a intervenção, a metodologia propõe a avaliação de várias opções de reabilitação tendo por base as necessidades de energia primária associadas a cada solução e os respetivos custos globais para o período de vida do edifício (considerado como sendo de 30 anos no caso de reabilitações). Os custos considerados integram os custos de investimento e os custos de exploração e manutenção do edifício, calculado utilizando o método do valor atual líquido. A Figura 17 é indicativa de como os resultados são apresentados no seguimento do cálculo do custo ótimo. Cada ponto no gráfico corresponde a uma solução de reabilitação. O ponto que se situa mais à direita é referente ao que se denomina como referência, uma vez que diz respeito a uma intervenção que mantém a integridade do edifício, mas sem promover melhorias de desempenho energético. Assim, as soluções analisadas que apresentarem um custo global superior ao custo da referência não são consideradas rentáveis. São considerados como apresentando uma rentabilidade positiva, as soluções cujos pontos estiverem situados abaixo da linha de referência, sendo que o ponto mais baixo corresponde à solução de custo ótimo. Todas as soluções abaixo da linha de custo-eficácia de referência e, para a esquerda do ponto indicativo da solução de custo ótimo, são consideradas ainda custo-eficazes.

Para o cálculo das necessidades energéticas, foi utilizada a metodologia de cálculo constante do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH, 2013). Para o cálculo de custos associados às soluções apresentadas foi utilizado o Gerador de Preços CYPE (CYPE, 2018).

No caso particular do edifício em análise, interessa analisar medidas de reabilitação energética (incluindo sistemas), que em conjunto com o painel modular pré-fabricado, possam levar o edifício a apresentar necessidades quase nulas de energia, numa perspetiva de custo ótimo. Conforme já indicado, o edifício apresenta sinais evidentes de degradação, como zonas extensas com humidade e

desconforto térmico. De modo a ir ao encontro da resolução dessas questões, a reabilitação deverá incluir, para além da aplicação do painel modular pré-fabricado, a colocação de isolamento na laje de esteira da cobertura e na laje de teto da garagem, assim como a introdução de um sistema de climatização centralizado com foco no aquecimento ambiente e nas águas quentes sanitárias.

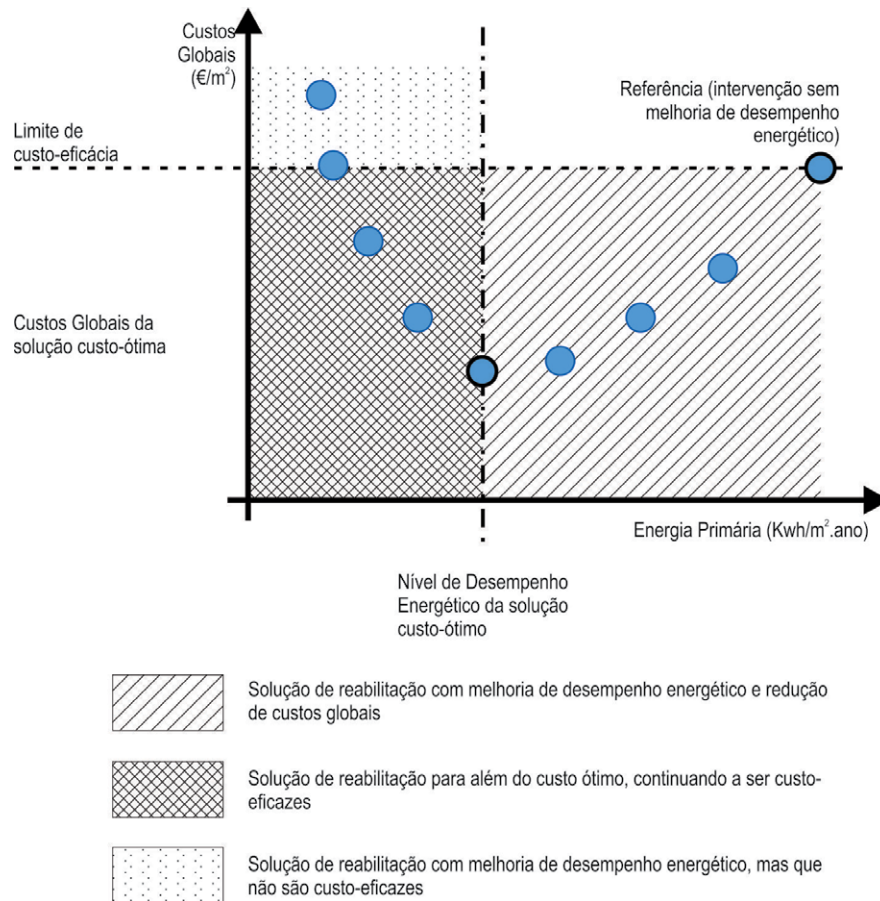


Figura 17 - Aplicação da metodologia de cálculo do custo ótimo

Fonte: adaptado de Almeida; Ferreira, 2017.

Os pacotes de medidas de reabilitação investigados são os presentes na Tabela 5. Estas combinações foram analisadas em conjunto com os sistemas de climatização apresentados na Tabela 6. De referir que no sistema D, a contribuição do fotovoltaico consiste numa instalação com uma capacidade de potência de pico de 7.5 Kwp, que, em conjunto com o sistema solar térmico considerado pode anular com sucesso todas as necessidades energéticas para aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias. No sistema F, a contribuição do fotovoltaico é considerada como a necessária para anular as necessidades de energia primária para aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias sem o auxílio do sistema solar térmico.

A solução a aplicar no edifício (solução M9), representa o pacote de medidas de reabilitação que o dono de obra decidiu implementar, de forma faseada, com os recursos e materiais que tem

disponíveis. Neste sentido, o pacote de medidas M9 foi também simulado especificamente com o sistema que irá ser colocado no edifício – sistema centralizado com base em caldeira a biomassa – e a combinação é denominada de *Aplicada*, consistindo nos componentes presentes na Tabela 7. De referir que esta combinação *Aplicada* não contempla um sistema para lidar com o arrefecimento pois apenas considera a caldeira a biomassa que apenas consegue fornecer calor. No entanto, esta situação não é problemática neste caso específico dado as baixas necessidades energéticas de arrefecimento apresentadas pelo edifício (ver Tabela 1). Para além disso, a regulamentação térmica portuguesa possui um método expedito para avaliar os riscos de sobreaquecimento de um edifício através do cálculo de um fator de utilização de ganhos que depende da inércia térmica do edifício e do equilíbrio entre ganhos e perdas de calor através do envelope. Quando este fator é mais alto que o valor de referência, o que acontece no caso deste edifício, o risco de sobreaquecimento é considerado inexistente e as necessidades de arrefecimento não são consideradas no cálculo do desempenho térmico do edifício. Esta situação é bastante comum em Portugal devido ao facto de os edifícios possuírem geralmente uma elevada inércia térmica e perdas significativas de calor através dos elementos da envolvente.

Tabela 5 - Combinações de pacotes de medidas de reabilitação energética

Combinação de medidas	Descrição
Referência	No caso de referência, as paredes são reparadas e pintadas e o telhado é reabilitado com novas telhas cerâmicas. Nenhuma das medidas melhora o desempenho energético do edifício.
M1	É aplicado o painel modular pré-fabricado com 12 cm e 6 cm de lã mineral na interface.
M2	É aplicado o painel modular pré-fabricado com 12 cm e 10 cm de lã mineral na interface.
M3	Adicionalmente ao M3, a cobertura é reabilitada e isolada com 12 cm de lã mineral.
M4	Adicionalmente ao M4, a cobertura é reabilitada e isolada com 14 cm de lã mineral.
M5	Adicionalmente ao M5, a laje de teto da garagem é isolada com 6 cm de lã mineral.
M6	Adicionalmente ao M6, as janelas são substituídas (U de $2.7 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$).
M7	Adicionalmente ao M6, as janelas são substituídas (U de $2.4 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$).
M8	Adicionalmente ao M8, um sistema solar térmico é considerado.
M9 (Escolhida)	É aplicado o painel modular pré-fabricado com 12 cm e 10 cm de lã mineral na interface. A cobertura é isolada com 6 cm de poliuretano projetado e na laje de teto da garagem é colocada uma camada de isolamento térmico com 6 cm de XPS.

Tabela 6 - Combinação de sistemas para reabilitação energética

Combinação sistemas	Aquecimento	Arrefecimento	AQS	Renovável
Convencional	Aquecimento elétrico $\eta=1$	Multisplit EER=3	Esquentador a gás $\eta=0.71$	
A	Multisplit COP=4.1	Multisplit EER=3.5	Esquentador a gás $\eta=0.71$	
B	Caldeira a Gás $\eta=0.93$	Multisplit EER=3.5	Caldeira a Gás $\eta=0.93$	
C	Caldeira biomassa $\eta=0.92$	Multisplit EER=3.5	Caldeira biomassa $\eta=0.92$	
D	Bomba de calor COP=3.33	Bomba de calor EER=2.68	Bomba de calor COP=3.33	Fotovoltaico (7.5 kWp)
E	Bomba de calor COP=3.33	Bomba de calor EER=2.68	Bomba de calor COP=3.33	
F	Bomba de calor COP=3.33	Bomba de calor EER=2.68	Bomba de calor COP=3.33	Fotovoltaico (Zero)

Tabela 7 - Combinação a aplicar no edifício

Combinação de medidas	Sistemas		
	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
M9			
	Caldeira Biomassa $\eta=0.92$	–	Caldeira Biomassa $\eta=0.92$

No caso do edifício em estudo, os cálculos efetuados relativamente ao desempenho energético do edifício, permitem apontar para uma redução de 25% nas necessidades de energia primária previstas para o edifício somente com a aplicação do painel na fachada, quando comparada com a situação de referência. Esta redução pode chegar aos 98% no caso da aplicação de uma combinação de medidas de reabilitação de envolvente e de aplicação de sistemas de climatização e AQS eficientes, nomeadamente através da aplicação de isolamento térmico na cobertura e na laje de teto da garagem e da introdução da uma caldeira a biomassa como sistema de climatização centralizado para aquecimento ambiente e aquecimento das águas sanitárias.

Relativamente à rentabilidade das combinações, como é possível verificar na Figura 18, os pacotes de medidas de reabilitação implementados com os sistemas Convencional e Sistema A, apresentam, no geral uma rentabilidade positiva.

Quando analisado o Sistema Convencional em detalhe, o pacote de medidas que corresponde à solução de custo ótimo é o M6, com um coeficiente de transmissão térmica de $0.17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para as paredes exteriores, $0.22 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para a cobertura e $0.33 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para a

laje de teto da garagem. Considera-se ainda que as janelas são substituídas por uma solução mais eficiente ($U = 2.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ em comparação com o U inicial de $3.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). A implementação desta combinação de medidas de reabilitação de envolvente juntamente com a aplicação de sistemas de climatização e AQS conduz a uma redução na energia primária de 43% quando comparado com a situação de referência.

No que diz respeito ao Sistema A, o pacote de medidas a que corresponde a solução de custo ótimo é o M3, que para além do coeficiente de transmissão térmica de $0.17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para as paredes exteriores considera que a intervenção na cobertura permite alcançar um coeficiente de transmissão térmica de $0.28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Neste caso, a redução das necessidades de energia primária corresponde a 70% do valor de referência.

A combinação *Aplicada* é a combinação que se apresenta como a solução de custo ótimo para este edifício. Para além do valor já indicado para as paredes exteriores, o pacote de medidas de reabilitação consideradas inclui um coeficiente de transmissão térmica de $0.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para a cobertura e de $0.34 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para a laje de teto da garagem, não considerando qualquer intervenção nos envidraçados. Devido à consideração da caldeira de biomassa, o consumo de energia primária não renovável é reduzido a 98%, e a 100% nos pacotes de medidas combinadas com o Sistema F (com painéis fotovoltaicos), mas sem rentabilidade positiva, não sendo, por isso, custo-eficazes.

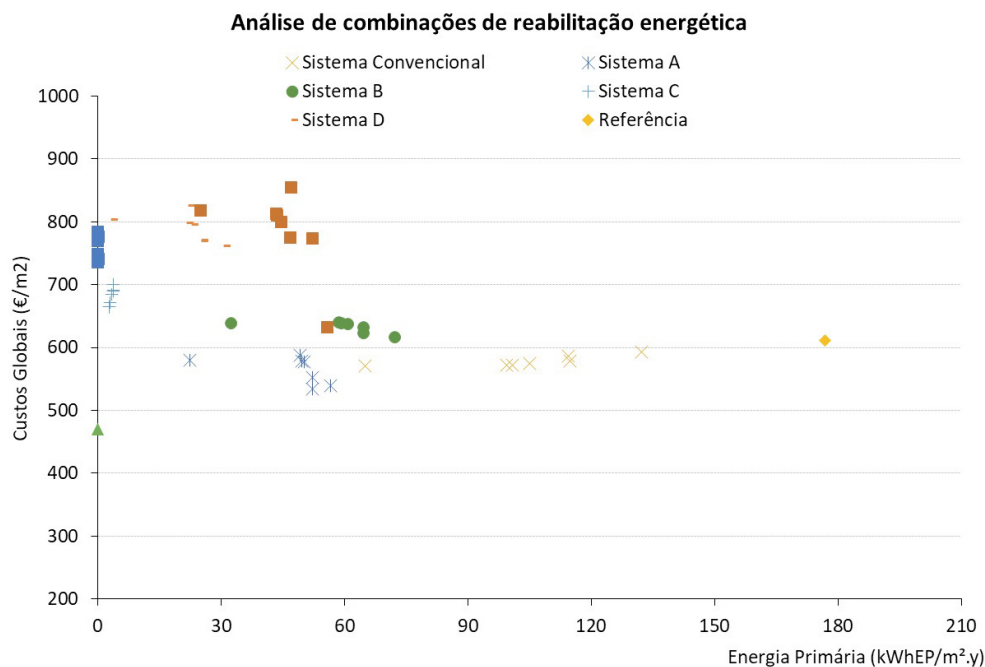


Figura 18 - Resultados da aplicação da metodologia de cálculo do custo-ótimo

Fonte: elaboração própria.

CONCLUSÃO

O capítulo apresentou o resultado do desenvolvimento de um painel modular pré-fabricado e respetivos testes laboratoriais e simulações numéricas conducentes à sua otimização, no contexto de um projeto de investigação financiado por verbas Europeias – projeto More-Connect. De modo a apoiar a reabilitação integrada e avaliar a rentabilidade económica da solução de reabilitação a implementar no edifício caso de estudo, foram também efetuadas diversas simulações usando a metodologia de custo ótimo. A análise com esta metodologia permitiu identificar a solução de custo ótimo deste edifício como sendo constituída pelo painel modular pré-fabricado desenvolvido no âmbito deste projeto, juntamente com a aplicação de uma camada de lã de rocha com 10 cm de espessura na interface entre o painel e a parede existente, com a aplicação de isolamento térmico na cobertura de poliuretano projetado com 6 cm de espessura e com a aplicação de 6 cm de poliestireno extrudido na laje de teto da garagem. A solução de custo ótimo considera ainda uma caldeira a biomassa como sistema centralizado no edifício para assegurar as necessidades de aquecimento ambiente e de aquecimento das águas sanitárias.

As soluções modulares pré-fabricadas para reabilitação de fachadas de edifícios apresentam-se assim como uma alternativa técnica válida e economicamente rentável face às soluções convencionais de tratamento de fachadas e podem contribuir significativamente para que o edificado existente atinja os requisitos nZEB. Para além disso, prevê-se que a economia de escala e a otimização do processo de produção em massa do painel modular traga benefícios adicionais do ponto de vista de redução de custos de produção, o que será fundamental para a introdução deste tipo de solução no mercado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M; FERREIRA, M. Cost effective energy and carbon emissions optimization in building renovation (Annex 56). *Energy and Buildings*, 2017: 152(Supplement C), 718–738. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.050>

ANSYS (2018). Engineering Simulation & 3-D Design Software | ANSYS. Disponível em: <<http://www.ansys.com/>>. Acesso em: 6 mar. 2018.

BARBOSA, M. T.; ALMEIDA, M. M. (ed). Reabilitação Energética do Património Construído. *In: Ambiente construído e sua sustentabilidade*, Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2014.

BPIE (2010). Cost-optimality in building renovations. Retrieved 17 October 2017, from <http://bpie.eu/publication/cost-optimality-in-building-renovations/>

CAPUTO, P.; PASETTI, G. Overcoming the inertia of building energy retrofit at municipal level: The Italian challenge. *Sustainable Cities and Society*, 2015: 15, 120–134.

Comissão Europeia e Parlamento Europeu - Regulamento Delegado (UE) N°244/2012 da comissão de 16 de janeiro de 2012 que complementa a Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios (2012). Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32012R0244>

CORETECH - PORTUGAL - site OFICIAL - Home. Disponível em: <<http://www.coretech.com.pt/>>. Acesso em 6 mar. 2018.

CYPE. Gerador de preços para construção. Acedido 10 Janeiro de 2018 - <http://www.geradordeprecos.info>

DOWSON, M., POOLE, A., HARRISON, D., & SUSMAN, G. Domestic UK retrofit challenge: Barriers, incentives and current performance leading into the Green Deal. *Energy Policy*, 2012: 50, 294–305.

European Commission - Energy Roadmap 2050 (COM (2011) No. 885). Brussels. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52011DC0885>>

Total greenhouse gas emission trends and projections. European Environment Agency. Disponível em <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6/assessment-1>

Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). OJ L 153, 18.06.2010, p. 13. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>>

Fraunhofer ISI). *Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries*. Final Report for the European Commission Directorate-General Energy and Transport.

INCROPERA, F.; DEWITT, D.; BERGMAN, T.; & LAVINE, A. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. LTC. 2009.

INE (2011). Instituto Nacional de Estatística - CENSOS 2011. Disponível em: <http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos2011_apresentacao&xpid=CENSOS>. Acesso em 6 mar. 2018.

IPMA (2018). Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Disponível em:<www.ipma.pt>. Acesso em 5 mar. 2018.

KALAMEES, T.; PIHELO, P.; KUUSK, K. *Deep energy renovation of old concrete apartment building to nZEB by using wooden modular elements*. 2017.

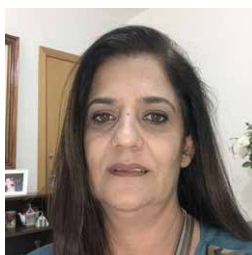
MØRCK, O. C. Energy saving concept development for the MORE-CONNECT pilot energy renovation of apartment blocks in Denmark. *Energy Procedia*, 2017: 140, 240–251. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.139>

REH (2013) Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, Pub. L. No. Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto. Diário da República n.º159 – 1.ª série, p 4988-5005.

SILVA, P. C. P.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L.; MESQUITA, V. Development of prefabricated retrofit module towards nearly zero energy buildings. *Energy and Buildings*, 2013: 56, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.034>

SOBRE OS ORGANIZADORES

MARIA TERESA BARBOSA



É Professora Titular do Departamento de Construção Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora e coordenadora do grupo de pesquisa Ambiente Construído. É membro do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da UFJF e de várias associações científicas e técnicas nacionais e internacionais nas áreas de materiais de construção civil e patologia das construções buscando sempre sua integração com o ambiente construído e sua sustentabilidade. É autora e coautora de mais de cem publicações, incluindo livros, capítulo de livros, artigos em revistas internacionais e nacionais artigos em conferências internacionais e nacionais e tem três patentes.

CV lattes: <<http://lattes.cnpq.br/5383190053731404>>

<[http://www.ufjf.br/ambienteconstruido/curso corpo-docente/maria-teresa](http://www.ufjf.br/ambienteconstruido/curso_corpo-docente/maria-teresa)>

ORCID: <<http://orcid.org/0000-0002-3839-5728>>

MARIA MANUELA ALMEIDA



É Professora Associada do Departamento de Engenharia de Civil da Universidade do Minho e coordenadora do grupo de investigação em Construção Sustentável. É membro da equipe de Coordenação do Curso Doutoral em Engenharia Civil e do Curso Doutoral em Sustentabilidade do Ambiente Construído. É membro da direção da iiSBE Portugal – Iniciativa Internacional para um

Ambiente Construído Sustentável – e membro de várias associações científicas e técnicas nacionais e internacionais nas áreas da Eficiência Energética e Desenvolvimento Sustentável. Coordena e participa em vários projetos de investigação internacionais e nacionais nas áreas de desempenho térmico de edifícios, nZEB, conservação e reabilitação de edifícios e construção sustentável. É autora e coautora de mais de duzentas publicações, incluindo livros, capítulos de livros, artigos em revistas internacionais e nacionais, artigos em conferências internacionais e nacionais e tem duas patentes.

CV: <<http://lattes.cnpq.br/7966662796438076>>

<<http://ctac.uminho.pt/research/sustainable-construction>>

<<http://ctac.uminho.pt/users/malmeida>>

ORCID: <<http://orcid.org/0000-0003-2713-6322>>

JOSÉ ALBERTO CASTAÑÓN



É Professora Titular do Departamento de Transportes e Geotecnia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora e coordenadora do grupo de pesquisa NEST. É membro do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da UFJF e de várias associações científicas e técnicas nacionais e internacionais nas áreas de materiais de construção civil e patologia das construções buscando sempre sua integração com o ambiente construído e sua sustentabilidade. É autor e coautora de mais de mais de cem publicações, incluindo livros, capítulo de livros, artigos em revistas internacionais e nacionais artigos em conferências internacionais.

CV: <<http://lattes.cnpq.br/1986569237172174>>

<<http://www.ufjf.br/ambienteconstruido/curso-corpo-docente/jose-alberto>>

ORCID: <<http://orcid.org/0000-0002-9799-6857>>