



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2014

**Marco Bruno
Tomaz
Nascimento**

**Avaliação da sustentabilidade dos
materiais de construção**



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2014

**Marco Bruno
Tomaz
Nascimento**

Avaliação da sustentabilidade dos materiais de construção

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família.

o júri
presidente

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora associada da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Paula da Silva Seabra
Investigadora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira
Professor associado da Universidade de Aveiro

agradecimentos

O desenvolvimento desta dissertação não seria possível sem a excelente orientação do Professor Victor Ferreira. Pela disponibilidade e auxílio prestado, bem como pela partilha de informação e transmissão de conhecimentos.

Aos meus pais, por todos estes anos de dedicação e esforço e também pelo apoio e acompanhamento que sempre prestaram ao longo da minha vida.

Aos meus irmãos, pela preciosa ajuda e pelas palavras de incentivo e motivação que muito ajudaram na concretização desta dissertação.

Aos companheiros da empresa Projserv pelo acolhimento, disponibilidade e fornecimento de material.

A todos os meus amigos pela amizade, apoio e camaradagem ao longo desta fase da minha vida, em particular ao Fábio Pires, Nélson Teixeira, Pedro Roque, Sérgio Cunha e Diogo Pires.

Ao meu grande amigo André Reis, pelo companheirismo, pelo auxílio, pelas discussões, mas essencialmente pela partilha. Por todas as razões, mas em especial pela sua maneira de ser, obrigado!

À minha namorada, pela paciência, incentivo e auxílio, mas sobretudo pela sua presença. Pelo acompanhamento e pela confiança que sempre demonstrou.

Muito obrigado!

palavras-chave

Materiais de construção, sustentabilidade, avaliação do ciclo de vida, impactes ambientais, declaração ambiental de produto

resumo

A consciencialização acerca das problemáticas relativas ao consumo de recursos naturais, à produção de resíduos e às emissões de gases poluentes para atmosfera que estão diretamente associadas ao setor da construção impulsionou a proliferação do conceito “Construção Sustentável”. Este conceito assenta em princípios muito objetivos que têm como principal intuito reduzir os impactes ambientais causados por este setor.

A presente dissertação pretende elucidar sobre a importância da adequada seleção dos materiais e equipamentos que compõem as construções, bem como da incorporação de técnicas e soluções construtivas inovadoras para a obtenção de edifícios mais sustentáveis.

A crescente procura de edifícios responsáveis por um menor consumo de energia, materiais e água, e portanto mais protetores do meio ambiente, estimulou o aparecimento dos primeiros sistemas de avaliação da sustentabilidade de edifícios. Neste trabalho descrevem-se algumas ferramentas e metodologias de avaliação da sustentabilidade, destacando em particular o papel preponderante das Declarações Ambientais de Produto (DAP's) no incentivo à escolha de materiais com menor impacte ambiental, contribuindo assim para uma atitude responsável para a obtenção de construções mais sustentáveis.

Nesta linha de orientação, na parte final deste trabalho abordam-se dois casos de estudo que têm como objetivo analisar comparativamente o desempenho ambiental de diferentes tipos de isolamento térmico de paredes de fachada e de coberturas, através da informação fornecida pelas declarações ambientais dos respetivos materiais em estudo.

keywords

Building materials, sustainability, life cycle assessment, environmental impacts, environmental product declarations

abstract

The awareness of the problems related to the consumption of natural resources , production of waste and emissions of polluting gases to the atmosphere that are directly related to the construction sector boosted the proliferation of the concept "Sustainable Construction " . This concept is based on principles that have as main aim to reduce the environmental impacts caused by this sector.

This dissertation aims to elucidate the importance of proper selection of materials and equipment that are part of buildings construction as well as the incorporation of techniques and innovative construction solutions to achieve more sustainable buildings.

The growing demand for buildings accounting for a lower consumption of energy, materials and water, and therefore more protective of the environment, stimulated the appearance of sustainability rating systems of buildings. In this thesis we describe a few tools and methodologies for sustainability evaluation, highlighting in particular the Environmental Product Declarations (EPD 's) role in encouraging the selection of materials with low environmental impact, thus contributing to ensure a responsible attitude for obtaining more sustainable buildings.

In this context, the final part of this thesis discuss two cases studies that compares the environmental performance of different types of thermal insulation of facade walls and roofs, through information provided by the environmental declarations of the respective materials in study.

Índice

Índice de figuras	xv
Índice de tabelas	xxi
Lista de símbolos e abreviaturas	xxiii
Capítulo 1 Introdução	2
1.1 Enquadramento	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura da dissertação	3
Capítulo 2 Desenvolvimento e construção sustentável	6
2.1 Desenvolvimento sustentável	6
2.2 Construção sustentável	9
2.2.1 A sustentabilidade e a energia	12
2.2.2 A sustentabilidade e a água	32
2.2.3 A sustentabilidade e os materiais	42
2.2.4 A sustentabilidade e a produção de resíduos	49
Capítulo 3 Sistemas de avaliação de sustentabilidade	56
3.1 Enquadramento	56
3.2 Sistemas de avaliação	57
3.2.1 LEED	57
3.2.2 GBTool / SBTool	59
3.2.3 BREEAM	61
3.2.4 LíderA	62
3.2.5 SimaPro 7	63
3.3 Avaliação do ciclo de vida (ACV)	64

3.4	Rotulagem ecológica – Declaração Ambiental de Produto (DAP)	68
3.4.1	Enquadramento e objetivos	68
3.4.2	Enquadramento normativo das DAP	70
3.4.3	Regras de categoria do produto	71
3.4.4	Conteúdo das DAP	72
3.4.5	Programas de registo das DAP	74
Capítulo 4 Casos de estudo: soluções construtivas de isolamento de paredes de fachada e de coberturas		76
4.1	Enquadramento	76
4.2	Metodologia experimental	76
4.3	Soluções construtivas a estudar	77
4.3.1	Isolamento térmico de paredes de fachada pelo interior	78
4.3.2	Isolamento térmico de coberturas	81
4.4	Desempenho ambiental dos materiais em estudo	85
4.4.1	Isolamento térmico em paredes de fachada pelo interior	86
4.4.2	Isolamento térmico em coberturas	99
Capítulo 5 Considerações finais		114
5.1	Conclusões	114
5.2	Perspetivas futuras	116
Referências bibliográficas		118
Anexos		126

Índice de figuras

Figura 2.1 – Evolução do número de artigos contendo as palavras “desenvolvimento sustentável” [2]	6
Figura 2.2 – Os três pilares do desenvolvimento sustentável [10]	8
Figura 2.3 – Definição do conceito “Construção Sustentável” [12]	9
Figura 2.4 – Evolução do processo de construção através da introdução dos princípios da construção sustentável [15]	10
Figura 2.5 – Prioridades a considerar no projeto de uma construção sustentável [16]	11
Figura 2.6 – Impactes do ciclo de vida das construções [11]	12
Figura 2.7 – Emissões de carbono devidas à produção de energia [2]	13
Figura 2.8 – Consumo final de energia por setores [11]	13
Figura 2.9 – Perdas energéticas através da envolvente [20]	16
Figura 2.10 – Condutividade térmica (λ) de alguns materiais de construção [20]	16
Figura 2.11 – Placas de granulado de cortiça e pasta de papel reforçadas com fibras de cânhamo. a) aspeto geral da placa e b) textura da placa [21]	17
Figura 2.12 – Isolamentos térmicos convencionais e isolamentos térmicos de elevado desempenho [2]	18
Figura 2.13 – Espessura de um painel com vácuo e de um isolamento térmico corrente com o mesmo desempenho [2]	18
Figura 2.14 – Vista esquemática da estrutura da parede [24]	19
Figura 2.15 – Calafetagem em portas e janelas [27]	20
Figura 2.16 – Exemplo de uma janela inteligente: a) vista microscópica e b) aspeto geral da janela [28]	21

Figura 2.17 – Sistemas de sombreamento: a) incidência solar sobre a pala horizontal e b) Hotel Ipanema Park, Porto	21
Figura 2.18 – a) Incandescente e b) de halogéneo [32]	24
Figura 2.19 – Lâmpadas fluorescentes: a) compactas e b) tubulares [9]	24
Figura 2.20 – Modelo atual das etiquetas energéticas em eletrodomésticos [33]	25
Figura 2.21 – Sistemas de aquecimento de água: a) sistema instantâneo a gás e b) sistema de acumulação elétrico [34]	26
Figura 2.22 – Painel solar de aquecimento de água de uma habitação [36]	27
Figura 2.23 – Origem da energia consumida [37]	28
Figura 2.24 – Sistemas fotovoltaicos: a) fachada fotovoltaica e b) telhas fotovoltaicas [9]	29
Figura 2.25 – Aerogerador doméstico	30
Figura 2.26 – Micro-hidrogerador instalado numa nascente [9]	30
Figura 2.27 – Sistema de captação: a) horizontal e b) vertical [41]	31
Figura 2.28 – Recuperador de calor a pellets	32
Figura 2.29 – Distribuição da água no Planeta	32
Figura 2.30 – Consumo de água potável num edifício [46]	34
Figura 2.31 – Rótulos de eficiência hídrica da ANQIP [44]	35
Figura 2.32 – Economizador com função arejador e pulverizador [48]	36
Figura 2.33 – Tipos de chuveiros: a) com emulsionador de ar e b) chuveiro com spray [47]	37
Figura 2.34 – Sistemas de descarga: a) de dupla descarga e b) de interrupção automática	38
Figura 2.35 – Sanita compostora com reservatório independente	39
Figura 2.36 – Etiqueta da Austrália relativa ao consumo de água dos equipamentos [9]	39
Figura 2.37 – Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais [55]	40

Figura 2.38 – Índice de toxicidade de alguns isolantes térmicos [58]	47
Figura 2.39 – Amianto (amostra de tremolite)	47
Figura 2.40 – Resíduos produzidos por setor de atividade nos diversos países da União Europeia [60]	50
Figura 2.41 – Processos de demolição seletiva	51
Figura 2.42 – Sistema de reciclagem do betão [68]	54
Figura 3.1 – Níveis de certificação do sistema LEED [70]	59
Figura 3.2 – Dimensões e categorias consideradas no SBTool [69]	59
Figura 3.3 – Classificação do SBTool ^{pt} [69]	60
Figura 3.4 – Certificado de sustentabilidade do SBTool [69]	60
Figura 3.5 – Esquematização do processo para a classificação ambiental dos edifícios [71]	61
Figura 3.6 – Principais vertentes e áreas de intervenção abordadas pelo LiderA [72]	62
Figura 3.7 – Níveis de desempenho do sistema LiderA [72]	63
Figura 3.8 – Fases do ciclo de vida de um produto [75]	66
Figura 3.9 – Fase de implementação do ACV [11]	67
Figura 3.10 – Símbolo de rótulo ecológico Europeu	68
Figura 4.1 – Sistema construtivo de isolamento de parede de fachada pelo interior	79
Figura 4.2 – Sistema construtivo de isolamento térmico em cobertura inclinada (Biofib Duo e Métisse)	82
Figura 4.3 – Sistema construtivo de isolamento térmico em cobertura inclinada (Fibratec)	83
Figura 4.4– Processo construtivo do isolamento Métisse	84
Figura 4.5 – Processo construtivo do isolamento Biofib Duo	85
Figura 4.6 – Energia renovável associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	88

Figura 4.7 – Consumo de recursos energéticos não renováveis	89
Figura 4.8 – Energia não renovável associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	90
Figura 4.9 – Consumo de recursos naturais não energéticos associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	90
Figura 4.10 – Consumo de água associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	91
Figura 4.11 – Emissões de CO ₂ associadas ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	92
Figura 4.12 – Emissões atmosféricas associadas aos diferentes tipos de isolamento	93
Figura 4.13 – Produção de resíduos associados ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	94
Figura 4.14 – Potencial de aquecimento global associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	94
Figura 4.15 – Potencial de acidificação associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	95
Figura 4.16 – Oxidação fotoquímica associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	96
Figura 4.17 – Potencial de eutrofização associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	96
Figura 4.18 – Emissões para a água de compostos de azoto e de fósforo associadas ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	97
Figura 4.19 – Dados do inventário do ciclo de vida	98
Figura 4.20 – Indicadores da avaliação de impacte do ciclo de vida	98
Figura 4.21 – Energia renovável associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	101
Figura 4.22 – Energia não renovável associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	102
Figura 4.23 – Consumo de recursos naturais não energéticos associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	103

Figura 4.24 – Consumo de água associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	104
Figura 4.25 – Total de emissões atmosféricas associadas aos diferentes tipos de isolamento	105
Figura 4.26 – Produção de resíduos associados ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	106
Figura 4.27 – Potencial de aquecimento global associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	107
Figura 4.28 – Potencial de acidificação associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	107
Figura 4.29 – Oxidação fotoquímica associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	108
Figura 4.30 – Potencial de eutrofização associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	109
Figura 4.31 – Emissões para a água de compostos de azoto e de fósforo associadas ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento	109
Figura 4.32 – Dados do inventário do ciclo de vida	110
Figura 4.33 – Indicadores da avaliação de impacte do ciclo de vida	111

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Princípios da construção sustentável	10
Tabela 2.2 – Água utilizada na produção de alguns materiais de construção [45]	34
Tabela 2.3 – Caudal ideal e caudal regulamentar [44]	35
Tabela 2.4 – Caudais ideais para os autoclismos das bacias de retrete	38
Tabela 2.5 – Energia despendida no fabrico de alguns materiais de construção	43
Tabela 2.6 – Energia despendida segundo o modo de transporte [2]	44
Tabela 2.7 – Energia incorporada em materiais de construção [2]	44
Tabela 2.8 – Potencial de Aquecimento Global (PAG) associado a alguns materiais de construção [9]	45
Tabela 3.1 – Áreas chave e critérios da certificação LEED [70]	58
Tabela 3.2 – Critérios de avaliação da ferramenta SimaPro 7 [74]	64
Tabela 3.3 – Programas de registo de DAP	74
Tabela 4.1 – Espessura dos materiais que formam o complexo de isolamento térmico	79
Tabela 4.2 – Propriedades térmicas dos complexos de isolamento	79
Tabela 4.3 – Dimensões dos diferentes materiais de isolamento para coberturas inclinadas	83
Tabela 4.4 – Propriedades térmicas das diferentes soluções de isolamento para coberturas inclinadas	83
Tabela 4.5 – Fluxos considerados no processo de avaliação do ciclo de vida dos isolamentos	86
Tabela 4.6 – Dados do ICV e indicadores da AICV referentes aos três tipos de isolamento de paredes baseadas na duração típica de vida do material (50 anos)	87
Tabela 4.7 – Fluxos considerados no processo de avaliação do ciclo de vida dos isolamentos	99
Tabela 4.8 – Dados do ICV e indicadores da AICV referentes aos três tipos de isolamento para coberturas tendo em conta o período tipo de vida do material (50 anos)	100

Lista de símbolos e abreviaturas

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida
ANQIP	Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais
AQS	Água Quente Sanitária
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CAATEEB	Collegi D'Aparelladors, Arquitectes Tècnics I Enginyers D'Edificació de Barcelona
CEN	European Committee for Standardization
CFC's	Clorofluorcarbonetos
CIB	Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação na Construção
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO ₂	Dióxido de carbono
COV's	Compostos orgânicos voláteis
DAP's	Declarações Ambientais de Produto
DGE	Direção Geral de Energia
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	Environmental Performance Index
EPS	Poliestireno expandido
ETICS	External Thermal Insolation Composite System
GEE	Gases de efeito de estufa
HFC's	Hidrofluorcarbonetos
HRM	Heating and Rubbin Method
ICV	Inventários de Ciclo de Vida
ISO	International Standard Organization
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MIT	Massachussetts Institute of Technology

OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PCM	Phase-change material
PU	Poliuretano
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RCP's	Regras de Categoria de Produtos
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios
SAAP	Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais
SBTool	Sustainable Building Tool
SPRAC	Sistemas Prediais de Reutilização ou Reciclagem de Águas Cinzentas
USGBC	United States Green Building Council
VIP	Vacuum insulated panel

Capítulo 1

Introdução

Capítulo 1 Introdução

1.1 Enquadramento

Nos últimos anos foi notória uma crescente preocupação com as questões relacionadas com a problemática da sustentabilidade. Os efeitos nefastos da atividade humana sobre o meio ambiente catapultaram a discussão da temática da sustentabilidade para uma dimensão Mundial. A contaminação das águas, solo e ar, as alterações climáticas e a diminuição das reservas de combustíveis fósseis surgem como potenciais ameaças à qualidade de vida das gerações atuais, mas principalmente das gerações futuras, como tal é necessário mudar atitudes e comportamentos de forma a preservar o futuro das gerações vindouras.

Relativamente à indústria da construção, pode dizer-se que esta assume um papel de particular importância dentro da temática da sustentabilidade, uma vez que é uma indústria de alto impacto ambiental. Esta constitui um dos maiores e mais ativos setores uma vez que representa 25% de toda a produção industrial europeia e ainda é o maior exportador Mundial com 52% do mercado. A nível ambiental esta indústria é responsável por aproximadamente um terço das emissões de dióxido de carbono e a nível Mundial é a indústria que consome mais matérias-primas que qualquer outra atividade económica. É ainda caracterizada pelo consumo excessivo de recursos energéticos não renováveis e pela excessiva produção de resíduos.

Dada a importância extrema que a indústria da construção evidencia, é necessária a incorporação do conceito de sustentabilidade em todas as fases da edificação (construção, utilização, manutenção e possível desconstrução).

Apesar das preocupações crescentes em torno deste tema, a introdução de técnicas e processos construtivos inovadores e mais sustentáveis no setor da construção é um processo lento, muitas vezes dificultado por construtores e compradores que questionam a fiabilidade e o desempenho deste tipo de construção a longo prazo e que erradamente a classificam como dispendiosa. A falta de critérios para a seleção de soluções mais sustentáveis é também uma razão apontada para a não utilização dessas tecnologias.

Vista a dimensão que este tema abrange é importante e necessário que, à semelhança dos países mais desenvolvidos onde a sustentabilidade assume um papel relevante na avaliação da qualidade global das construções, também Portugal privilegie uma política de construção mais sustentável, ou seja, mais equilibrada a nível ambiental, social e económico. Neste sentido é natural o aparecimento e o desenvolvimento de metodologias que tendo por base critérios objetivos permitam a avaliação da sustentabilidade das construções. Essas metodologias

deverão ser capazes de apontar a construção sustentável como caminho a seguir evidenciando todas as suas vantagens, contribuindo assim para a potenciação da implementação desta prática.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é enfatizar a preponderância da adequada seleção de materiais e elementos construtivos para a obtenção de edifícios sustentáveis. Pretende-se para isso analisar um conjunto de critérios de sustentabilidade que deverão ser determinantes na escolha dos materiais de construção a utilizar e apresentar soluções construtivas sustentáveis que possam constituir alternativas viáveis às soluções mais convencionais.

Nesta dissertação pretende-se também analisar várias metodologias/ferramentas de avaliação de sustentabilidade de edifícios.

Dois casos de estudo serão escolhidos com o intuito de perceber e analisar o desempenho ambiental de alguns materiais de construção, tendo em conta parâmetros como o consumo de recursos, emissões atmosféricas, produção de resíduos, bem como alguns indicadores de impacto ambiental como por exemplo, o potencial de aquecimento global.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos.

No Capítulo 1 faz-se uma breve descrição introdutória do tema, realçando a importância da incorporação do conceito de sustentabilidade na indústria da construção. Ainda neste capítulo são enumerados os objetivos preconizados e a organização adotada para a dissertação.

No Capítulo 2 é efetuada uma abordagem aos conceitos de “Desenvolvimento Sustentável” e de “Construção Sustentável”, evidenciando a sua crescente importância no seio da sociedade, em particular na indústria da construção. Ainda neste âmbito apresentam-se as três dimensões do desenvolvimento sustentável: económica, social e ambiental. Neste capítulo são abordados alguns temas relacionados com o impacto ambiental da construção, nomeadamente o consumo de energia e de água e a produção de resíduos, referindo possíveis estratégias que potenciem a diminuição desse mesmo impacto. São também referenciados e analisados diversos critérios a ter em conta na seleção de materiais para a obtenção de construções mais sustentáveis.

O Capítulo 3 é destinado aos sistemas de avaliação de sustentabilidade. Inicialmente faz-se uma breve introdução acerca dos mesmos, sendo posteriormente apresentados alguns destes sistemas (caraterísticas e critérios de avaliação considerados). A metodologia de Avaliação de Ciclo de

Vida (ACV) e as Declarações Ambientais de Produto (DAP's) são alvo de particular destaque neste capítulo.

No Capítulo 4, com recurso a DAP's, procede-se à análise de algumas soluções construtivas de isolamento de paredes de fachada e de coberturas tendo em conta o seu desempenho ambiental, comparando os resultados e retirando as respetivas conclusões acerca dos mesmos.

Por fim, o Capítulo 5 é dedicado à apresentação das conclusões finais, onde se faz uma síntese dos principais assuntos abordados e desenvolvidos ao longo desta dissertação. Nesta secção, são também sugeridos alguns desenvolvimentos futuros possíveis relacionados com esta temática da avaliação da sustentabilidade de materiais de construção.

Capítulo 2

Desenvolvimento e construção sustentável

Capítulo 2 Desenvolvimento e construção sustentável

2.1 Desenvolvimento sustentável

Na segunda metade do século XX surgem as primeiras investidas na temática da sustentabilidade, sendo que em 1987, através do Relatório de Bruntland é apresentado pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável como aquele que “permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas”[1]. A introdução deste conceito impulsionou o interesse acerca das problemáticas da sustentabilidade, que se refletiu no aumento significativo dos artigos publicados que continham a expressão “desenvolvimento sustentável”, como se pode verificar no gráfico da Figura 2.1 [2].

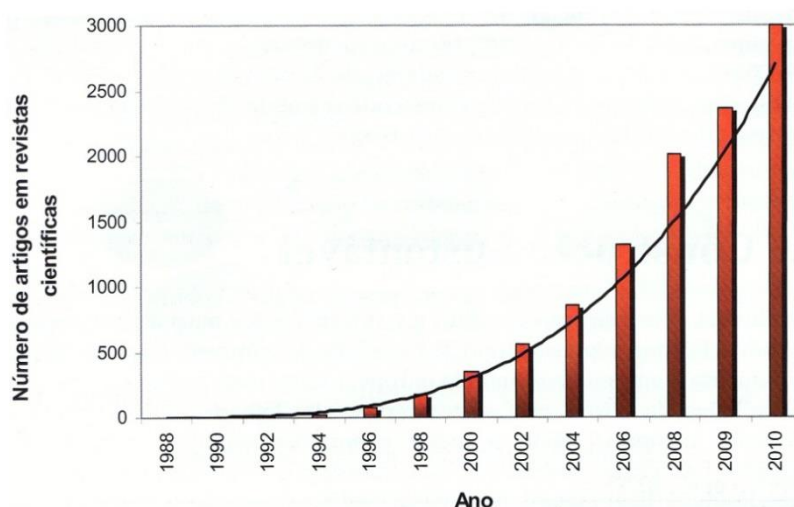


Figura 2.1 – Evolução do número de artigos contendo as palavras “desenvolvimento sustentável” [2]

A abordagem ao tema da sustentabilidade não se inicia com o referido Relatório de Bruntland, mas alguns anos antes quando em 1962 é publicado um livro intitulado “A primavera Silenciosa” da autoria de Rachel Carson onde são expostos os efeitos negativos do uso de pesticidas, alertando assim o Mundo para uma maior preocupação com o Ambiente [2].

No ano de 1972 o Clube de Roma, um grupo de pessoas ilustres que se reúnem para debater diversos assuntos relacionados com a política, economia internacional e essencialmente com o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, contrata uma equipa do MIT (Instituto Tecnológico de Massachussetts) que elabora um relatório intitulado “Os limites do crescimento”. Neste relatório são abordados diversos temas relevantes para o desenvolvimento da humanidade, entre os quais, a energia, a poluição, o saneamento, a saúde, o ambiente, a tecnologia e o crescimento populacional. Este relatório foi um importante contributo para a consciencialização dos problemas referidos, uma vez que se tornou o livro mais vendido da história chegando aos 30 milhões de exemplares.

Este crescente interesse pelos problemas relacionados com a temática da sustentabilidade culmina em 1987 com a divulgação do já referido Relatório de Brundtland. Segundo este relatório devem ser tomadas uma série de medidas por forma a promover o desenvolvimento sustentável tais como [1]:

- limitação do crescimento populacional;
- garantia de recursos básicos (água, alimentos, energia) a longo prazo;
- preservação da biodiversidade;
- diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias com uso de fontes energéticas renováveis;
- aumento da produção industrial nos países não industrializados com base em tecnologias ecologicamente adaptadas.

Este relatório ressalva ainda que “desenvolvimento sustentável não é um estado de harmonia fixa, mas um processo de mudança no qual a exploração de recursos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as mudanças institucionais são feitas de modo consistente com as necessidades presentes e futuras” [1].

No ano de 1992, realiza-se no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), mais conhecida como ECO 92. Este evento reuniu mais de uma centena de chefes de Estado provenientes de todo o Mundo que procuravam meios de conciliar o desenvolvimento socioeconómico com a conservação e proteção dos ecossistemas terrestres. Durante este evento foram elaborados alguns documentos de relevante importância, entre os quais se destaca um em particular, Agenda 21. Este documento concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência económica promovendo assim a importância da interdependência entre estes sectores rumo ao desenvolvimento sustentável dos países.

Com o crescente interesse por esta temática, alguns autores começam a abordar o conceito “desenvolvimento sustentável”. Christensen, descreve desenvolvimento sustentável como um padrão de desenvolvimento que garanta a existência de sistemas naturais que atuam na base do bem-estar humano, ao assegurar condições de vida adequadas e uma apropriada base produtiva[3], [4]. Já Pezzey com uma definição mais orientada para a economia afirma que o desenvolvimento sustentável é avaliado segundo o critério da não diminuição do bem-estar per capita ao longo do tempo [3,5].

Buisecke (1996) afirma que com o desenvolvimento sustentável, pretende-se que este contribua para a racionalização do uso de recursos ao longo do tempo, a curto e longo prazo, procurando uma equidade a nível social, uma eficiência a nível económico e uma prudência ecológica a nível ambiental [6].

Em 1999, o *National Research Council* define desenvolvimento sustentável como o conceito que tenta relacionar as aspirações de paz, de liberdade, de melhoria das condições de vida e de um meio ambiente saudável em todo o Mundo. A sua principal finalidade prende-se com a continuação do desenvolvimento da sociedade sem prejuízo do meio ambiente a longo prazo [7].

Bezerra e Bursztyn (2000), apresentam o desenvolvimento sustentável como sendo um processo de aprendizagem social de longo prazo, direcionado por políticas públicas orientadas por um plano de desenvolvimento nacional. Desta forma, a grande diversidade de atores sociais e interesses presentes na sociedade colocam-se como um entrave para as políticas públicas para o desenvolvimento sustentável [8].

Pode-se então afirmar que o conceito desenvolvimento sustentável não implica apenas questões relativas ao meio ambiente. Para além da preocupação com a manutenção e melhoria da salubridade e integridade do ambiente a longo prazo, preservando a equidade entre as gerações, também as questões económicas e as problemáticas sociais, sanitárias e éticas do bem-estar humano devem ser tomadas em conta [9].

O desenvolvimento sustentável está portanto associado a três vertentes, assentando essencialmente num ponto de equilíbrio entre o crescimento económico, a equidade social e a proteção do ambiente, conforme pode ser apreciado na Figura 2.2 [10].



Figura 2.2 – Os três pilares do desenvolvimento sustentável [10]

A diferença gritante com que o Homem tem encarado a importância da dimensão económica perante a dimensão social e ambiental coloca em risco as gerações futuras. A preocupação quase exclusiva pelas questões económico-financeiras e a despreocupação pelas questões sociais e ambientais é uma tendência que necessita urgentemente de ser alterada.

As constantes agressões infligidas pelo Homem ao meio ambiente contribuem expressivamente para o aparecimento e desenvolvimento de diversos problemas ambientais à escala global: mudanças climáticas; efeito de estufa; perda da biodiversidade e destruição dos ecossistemas. Ainda nesta linha de pensamento importa também ressaltar a importância dos problemas à escala local como por exemplo, a gestão da água, dos resíduos, da energia e dos transportes. Assim, no seguimento das preconizações relativas ao desenvolvimento sustentável surge a expressão *think global, act local*, que traduz a preocupação ativa dos problemas à escala local como forma de redução dos problemas à escala global [3].

2.2 Construção sustentável

Como já foi introduzido anteriormente nesta dissertação, a indústria da construção merece particular interesse na análise das problemáticas da sustentabilidade dada a sua extensão ao nível social, económico e ambiental. No que à parcela económica diz respeito, a indústria da construção afirma-se como um dos sectores mais importantes em toda a Europa, uma vez que representa cerca de 30% do emprego na indústria e 25% de toda a produção industrial europeia, dominando a parcela relativa às exportações com 52% do mercado [2]. Relativamente às questões ambientais, esta indústria representa 30% do consumo dos recursos naturais, 40% da energia, 20% da água, 10% do solo e contribui ainda para a poluição com 40% de emissões CO₂ e com 30 % de resíduos, o que evidencia um setor claramente insustentável [6].

O evidente impacte ambiental que a indústria da construção apresenta, promove a incorporação do conceito de sustentabilidade neste setor, começando a surgir assim o termo de “Construção Sustentável” como resposta do setor aos desafios do desenvolvimento sustentável. A utilização de novas tecnologias mais sustentáveis na criação de edifícios vai permitir reduzir os impactes causados pelo setor da construção.

Em 1994, Charles Kibert apresenta a primeira definição do conceito de Construção Sustentável numa Conferência Internacional realizada em Tampa, Flórida. Ainda atualmente, e apesar da evolução deste conceito, a definição mais consensual é a proferida pelo autor acima referido e que se encontra na Figura 2.3 [11].

A Construção Sustentável tem como objetivo ”a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos”.

Charles Kibert, 1994

Figura 2.3 – Definição do conceito “Construção Sustentável” [12]

Ainda no ano de 1994 o CIB, Conselho Internacional da Construção define sete princípios para a construção sustentável, com o intuito de fomentar a procura de edifícios mais sustentáveis (Tabela 2.1) [11,12].

Tabela 2.1 – Princípios da construção sustentável

-
1. Redução do consumo de recursos
 2. Reutilização de recursos
 3. Utilização de recurso recicláveis
 4. Proteção da natureza
 5. Eliminação de tóxicos
 6. Aplicação de análises de ciclo de vida
 7. Assegurar a qualidade
-

A construção sustentável utiliza tecnologias e materiais eficientes do ponto de vista do consumo de recursos, que não comprometem o ambiente e que contribuem para o bem-estar dos seus ocupantes [13,14].

A preocupação pela qualidade ambiental e pela equidade social permitiu uma evolução do processo tradicional de construção. Enquanto anteriormente, a competitividade da construção era avaliada segundo três parâmetros bem definidos: qualidade, custo e tempo de execução; atualmente, com a introdução da construção sustentável, este paradigma é bem diferente, uma vez que também os fatores ambientais (consumo de recursos, emissões, proteção da biodiversidade) e sociais (equidade social) são tomados em conta no processo de construção (Figura 2.4) [15].

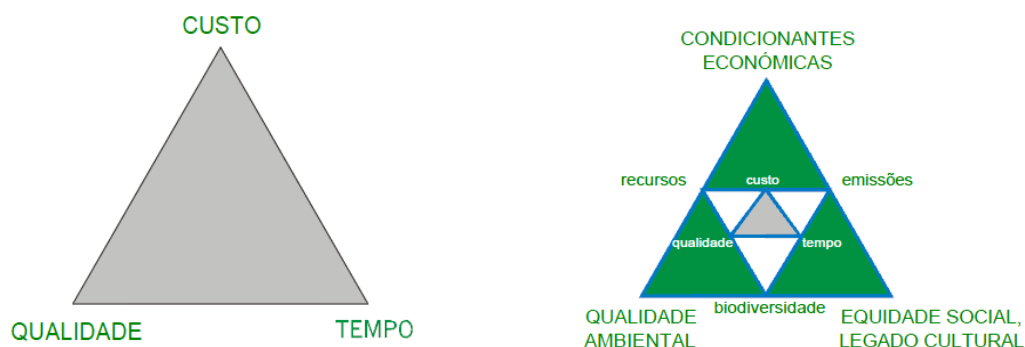


Figura 2.4 – Evolução do processo de construção através da introdução dos princípios da construção sustentável [15]

Na linha de pensamento introduzida pelos princípios para a construção sustentável referenciados pelo CIB, surgem algumas medidas/princípios que vão de encontro ao conceito de “construção sustentável”. A aplicação dos princípios apresentados na Figura 2.5, em todo o ciclo de vida do edifício, torna-se uma ação preponderante para a obtenção de construções mais sustentáveis. Assim sendo, estes princípios devem estar presentes logo desde a fase de projeto, transpondo-se posteriormente para as fases que lhe sucedem: construção, operação/manutenção e demolição/deposição.



Figura 2.5 – Prioridades a considerar no projeto de uma construção sustentável [16]

Apesar dos impactes ambientais na fase de projeto não serem palpáveis, esta reveste-se de uma importância extrema, visto ser nessa altura que se tomam decisões que terão influência no desempenho ao longo da vida do edifício, nomeadamente no que diz respeito a materiais a utilizar, bem como às necessidades energéticas e de água.

Relativamente à fase de construção, os principais problemas estão ligados ao consumo de materiais, à produção de resíduos e à alteração nos ecossistemas.

A fase de maior duração no ciclo de vida de um edifício é a de operação/manutenção, sendo portanto responsável por uma maior acumulação de impactes ambientais, entre os quais, o consumo de energia, materiais e água, a produção de resíduos e emissões atmosféricas.

No que à fase de demolição/deposição diz respeito é de salientar a produção de resíduos como principal impacte ambiental resultante desta fase, sendo o consumo de materiais, energia e as emissões de ruído e vibrações, geralmente pouco representativas [17].

Neste contexto, pode-se afirmar que, todas as fases constituintes do ciclo de vida de edifícios são responsáveis por diversos impactes nas três dimensões do desenvolvimento sustentável, como demonstra a Figura 2.6 [11].

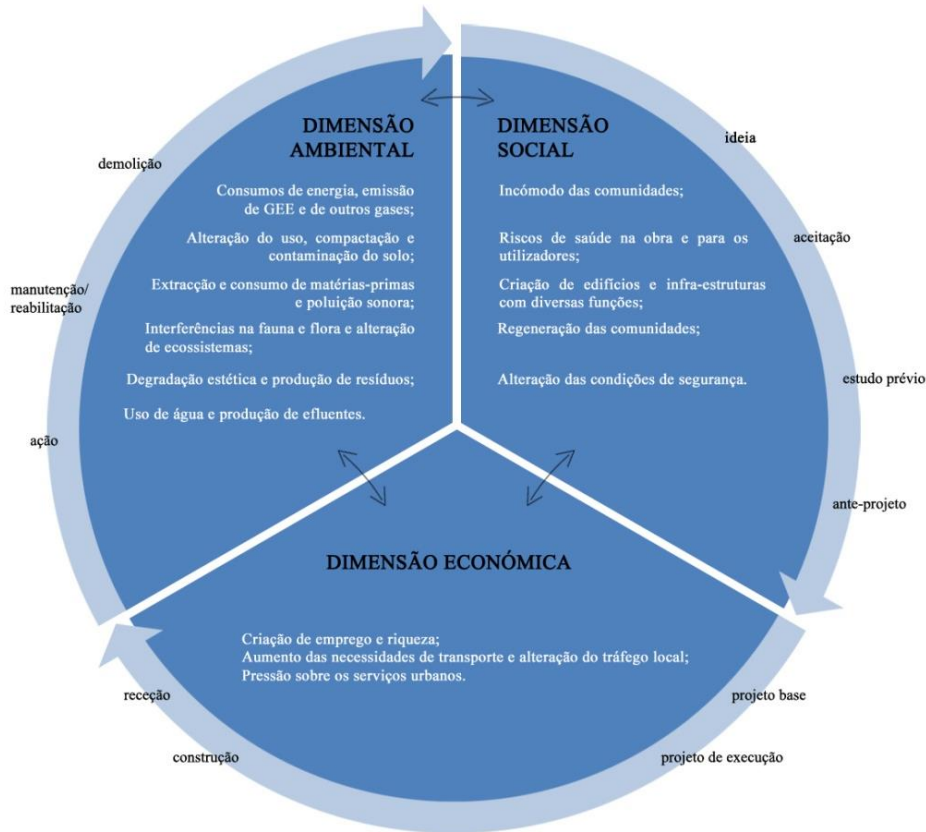


Figura 2.6 – Impactes do ciclo de vida das construções [11]

Tendo em conta que o setor dos edifícios é responsável por uma parcela significativa dos impactes gerados pelo Homem sobre o Meio Ambiente, é urgente a interiorização e aplicação dos princípios da construção sustentável em todas as fases do ciclo de vida dos edifícios, por forma a minimizar esses mesmos impactes. De relevante importância, é também, o aparecimento de novas tecnologias que potenciem a construção de edifícios mais sustentáveis. Nas secções seguintes apresentam-se os principais impactes associados ao ciclo de vida das construções e as suas potenciais causas, bem como algumas estratégias a utilizar para a minimização desses mesmos impactes.

2.2.1 A sustentabilidade e a energia

O crescente aumento da população Mundial associado ao facto de haver um maior número de pessoas com acesso a eletricidade levou a um acréscimo significativo do consumo de energia. O consumo exasperado de recursos não renováveis é uma realidade que urgentemente necessita de ser alterada, porém a grande problemática ao nível de impacte ambiental acerca deste consumo de energia prende-se com emissões de carbono que são geradas durante a queima de carvão e gás para a produção de eletricidade (Figura 2.7) [2].

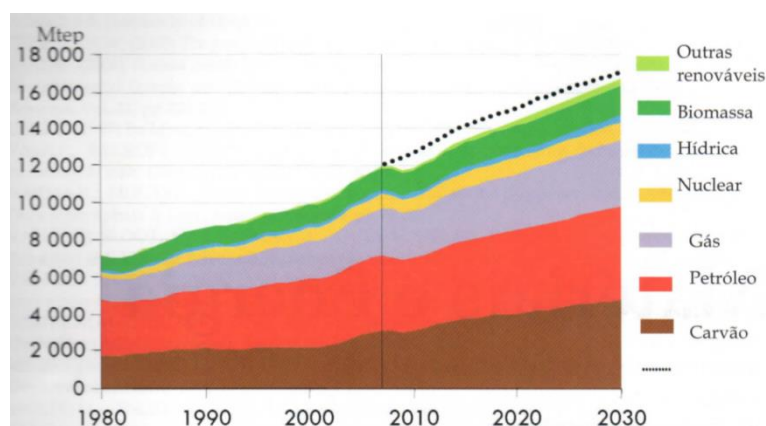


Figura 2.7 – Emissões de carbono devidas à produção de energia [2]

Estudos revelados pela OCDE (2003) indicam que entre 25 a 40 % de toda a energia produzida é consumida pelo setor residencial. Deste modo, é necessário aproveitar todo o potencial de poupança energética deste setor, por forma a obter uma consequente redução dos impactes associados ao excessivo consumo de energia [18].

A Figura 2.8 elucida a importância do setor residencial no seio dos setores responsáveis pela maior quota-parte do consumo final de energia, na União Europeia, Japão e Estados Unidos da América.

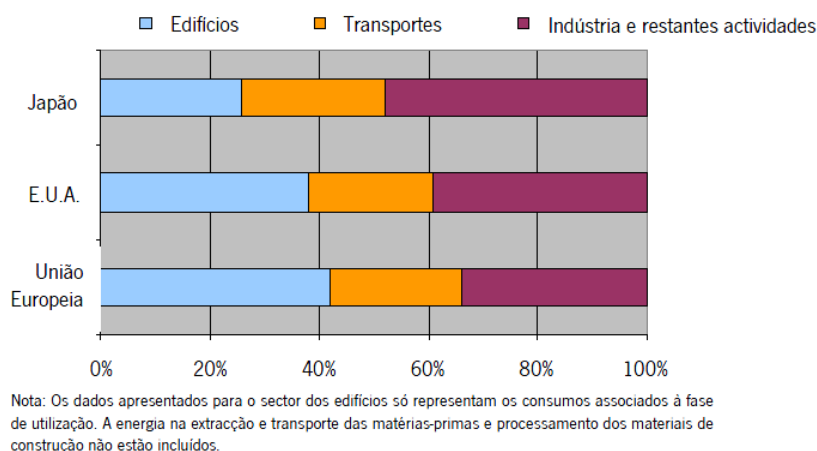


Figura 2.8 – Consumo final de energia por setores [11]

Em Portugal, segundo um estudo da Direção Geral de Energia (DGE) efetuado em 2004, o setor dos edifícios detém uma parcela significativa dos consumos totais de energia final do país, representando em 2001, 27% dos consumos. Ora este cenário vem comprovar um aumento significativo dos consumos energéticos em Portugal, visto que o Balanço Energético também efetuado pela DGE em 2002 relativo ao ano de 1999, aponta para um valor de consumo energético 5% inferior ao registado dois anos mais tarde [17].

A nível nacional, as inquietações acerca da utilização de energia não se prendem só, com o seu impacte ambiental devido às emissões de gases que lhe são inerentes, mas também, numa perspetiva mais económica, com o facto de a energia representar cerca de 60% das nossas importações. Apesar do aumento da consciencialização em torno desta matéria ser evidente, facto notado pela crescente aposta nas energias renováveis, a importação de energia e a queima de combustíveis fósseis utilizada para gerar uma fatia significativa da energia que necessitamos, vão continuar a fazer parte da realidade portuguesa nos próximos anos [2].

De forma a perceber-se o potencial de redução do consumo de energia por parte do setor dos edifícios, importa conhecer os principais fatores instigadores deste mesmo consumo. Basicamente, o balanço da energia deve incluir a energia consumida nas atividades de utilização final do edifício e a energia incorporada no edifício, conceitos a abordar e desenvolver de seguida nesta dissertação.

A parcela relativa à fase de utilização é a principal responsável pelo consumo energético dos edifícios, porém não se pode desprezar a energia incorporada nos edifícios que representa entre 10 a 15% dos consumos energéticos ao longo da sua vida. Este tipo de energia está associado à energia consumida na obtenção, processamento, manufatura e transporte para o local dos materiais de construção e a todos os consumos de energia relacionados com o processo de manutenção, reparação, restauro e substituição de materiais ou sistemas durante o tempo de vida do edifício [17].

Tendo em conta toda a energia que é consumida durante todo o ciclo de vida dos materiais (desde a fase de produção até ao fim de vida), é importante a seleção criteriosa dos materiais a utilizar nas construções, dando preferência a produtos locais, a materiais com baixa energia incorporada e com elevado potencial de reutilização. Deste modo, potencia-se a redução da energia incorporada nos edifícios e conseqüentemente dos impactes ambientais, uma vez que grande parte da energia consumida provém de fontes não renováveis, às quais estão associadas grandes quantidades de emissões de CO₂ e outros gases poluentes como já foi anteriormente referenciado.

Em termos de utilizações finais, os consumos de energia nos edifícios residenciais distribuem-se aproximadamente da seguinte maneira: cozinhas e produção de águas quentes sanitárias – 50%; aquecimento e arrefecimento – 25%; iluminação e equipamentos eletrodomésticos – 25% [19].

Neste contexto, e segundo Ricardo Mateus são vários os fatores que influenciam o consumo a este nível nos edifícios, sendo os mais importantes [9]:

- O grau de conforto exigido pelos utilizadores e seu comportamento;

- O número de utilizadores;
- Condições climáticas do local (clima mais quente ou mais frio, com maior ou menor radiação solar);
- Condutividade térmica dos elementos da envolvente do edifício;
- As perdas e ganhos de carga térmica associados à renovação do ar interior;
- Volume da construção (área útil);
- Orientação da construção;
- Área de envidraçados e sua orientação;
- Eficiência energética dos equipamentos existentes.

Visto o panorama atual de excesso de consumo de energia que se verifica a nível Mundial no setor residencial, é urgente a implementação de princípios que visem o aumento da eficiência energética dos edifícios, ou seja, a redução do consumo de energia sem prejuízo do conforto e da qualidade de vida dos utilizadores.

Por forma a combater o esbanjamento energético, na fase de utilização, que principalmente os países mais desenvolvidos vêm evidenciando no setor dos edifícios é fundamental a redução da ineficiência de sistemas (iluminação, eletrodomésticos, produção de águas quentes sanitárias), da energia não renovável utilizada e da procura de energia por parte do edifício [20].

Nas secções seguintes desta dissertação são abordados e explorados os principais fatores, responsáveis pelo consumo energético na fase de utilização, bem como algumas práticas recomendadas para a redução desse mesmo consumo.

2.2.1.1 Climatização

Tendo em conta que a envolvente de um edifício (telhados, paredes, portas, janelas, pavimentos) representa o elemento de separação entre o ambiente exterior e interior, é previsível a sua importância para os consumos energéticos dos edifícios na sua fase de utilização, essencialmente nas operações de aquecimento e arrefecimento/climatização dos espaços interiores. Neste contexto, é essencial que haja um adequado tratamento da envolvente a fim de reduzir as perdas energéticas que lhe estão associadas (Figura 2.9) [20].

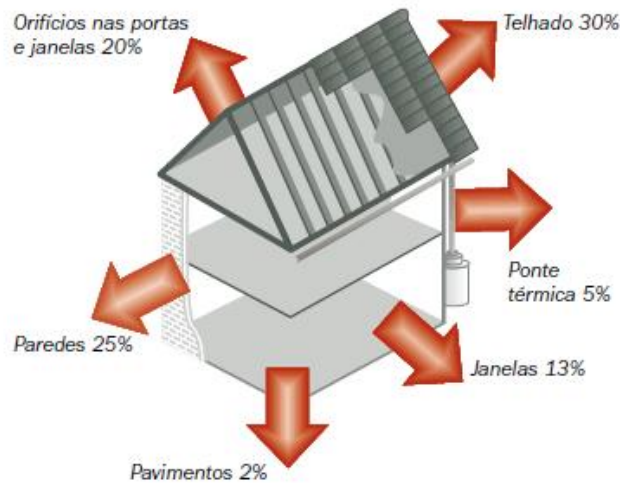


Figura 2.9 – Perdas energéticas através da envolvente [20]

O tipo de materiais que compõem a envolvente de um edifício influencia as condições de conforto interior dos seus utilizadores. A capacidade isolante é uma característica a ter em conta aquando a escolha de um determinado material constituinte da envolvente, pois prevenindo a transferência de calor entre o interior e o exterior de um edifício através de sistemas adequados de isolamento térmico, conseguem-se poupanças energéticas significativas, evitando custos desnecessários no aquecimento e arrefecimento de espaços [19].

Os isolantes térmicos são caracterizados por um fator de condutividade substancialmente mais baixo que outro tipo de materiais. A Figura 2.10 ilustra um gráfico onde se pode verificar o valor mínimo e máximo habitual de condutividade térmica de diferentes materiais utilizados na construção.

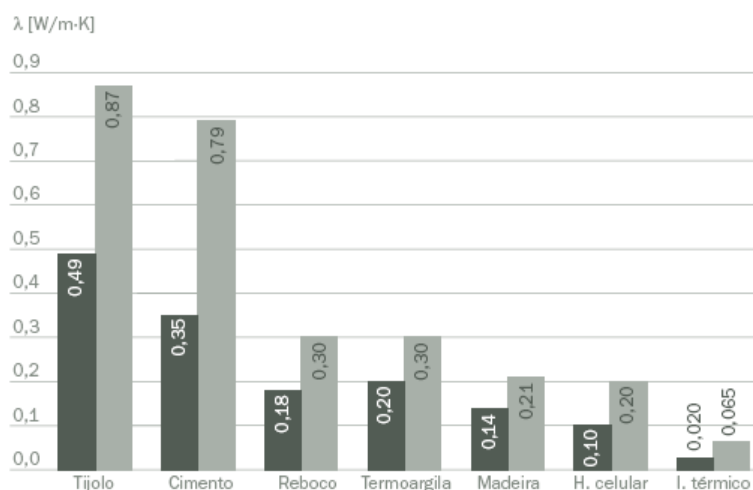


Figura 2.10 – Condutividade térmica (λ) de alguns materiais de construção [20]

Para além da capacidade isolante, outros fatores devem ser tomados em conta quando se escolhem os materiais de isolamento térmico, nomeadamente fatores relacionados com o seu

potencial impacto ambiental. Assim, deve-se dar prioridade a materiais de isolamento fabricados a partir de materiais reciclados ou naturais (lã mineral, cortiça), em detrimento de materiais fabricados à base de cloro-fluorcarbonetos (CFC's) ou hidrofluorcarbonetos (HFC's), uma vez que estes compostos contribuem para o aparecimento de diversos fenômenos prejudiciais ao meio ambiente. Neste sentido, alguns cientistas têm procurado desenvolver soluções de isolamento térmico com recurso a materiais naturais dando seguimento à procura de técnicas construtivas mais sustentáveis, como exemplo, refere-se uma placa compósita produzida à base de resíduos da indústria da cortiça, desperdícios de papel e fibras de cânhamo (Figura 2.11). Apesar destes compósitos ainda não possuírem os requisitos mínimos previstos para os isolantes, o seu valor de condutividade térmica (0.084 W/m.K) aproxima-se dos valores de condutividade respeitantes aos isolantes (entre 0.020 e 0.065 W/m.k), o que augura um futuro promissor para a entrada deste tipo de material na categoria de isolante térmico [2,21].

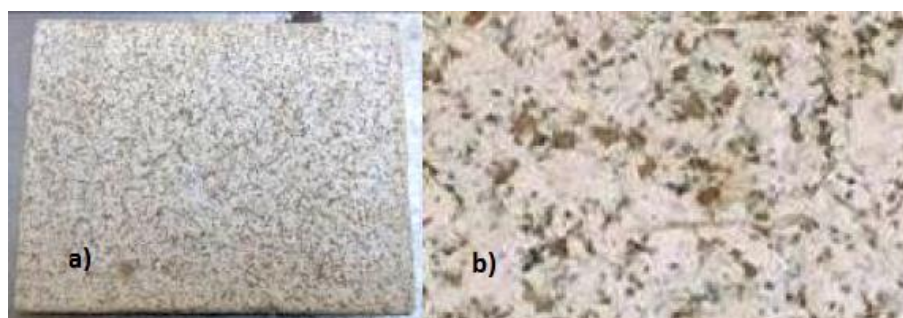


Figura 2.11 – Placas de granulado de cortiça e pasta de papel reforçadas com fibras de cânhamo. a) aspeto geral da placa e b) textura da placa [21]

Ainda na perspetiva da redução de gastos energéticos em edifícios relacionada com os sistemas de isolamento térmico, surge a preocupação com a necessidade de encontrar isolamentos térmicos de menor espessura e maior desempenho. Neste sentido, surgem os painéis de isolamento com vácuo (VIP), que combinam a boa eficiência térmica (condutividade térmica inferior a 0.005 W/m.K), (Figura 2.12) com a reduzida espessura, conseguindo apresentar espessuras até 10 vezes mais finas que os isolamentos convencionais, (Figura 2.13), porém a sua fragilidade e o possível aparecimento de pontes térmicas associado à sua utilização surgem como principais condicionantes à sua implantação no mercado. A nível ambiental estes sistemas potenciam a redução das emissões de CO₂, uma vez que o seu elevado desempenho térmico contribui ativamente para a eficiência energética do edifício e, como vimos no início deste subcapítulo, as emissões de CO₂ estão diretamente associadas à produção de energia [22,23].

Neste tipo de isolamento de nova geração, o núcleo (geralmente sílica de fumo ou poliestireno) constituinte dos VIP é colocado a vácuo no interior do painel.

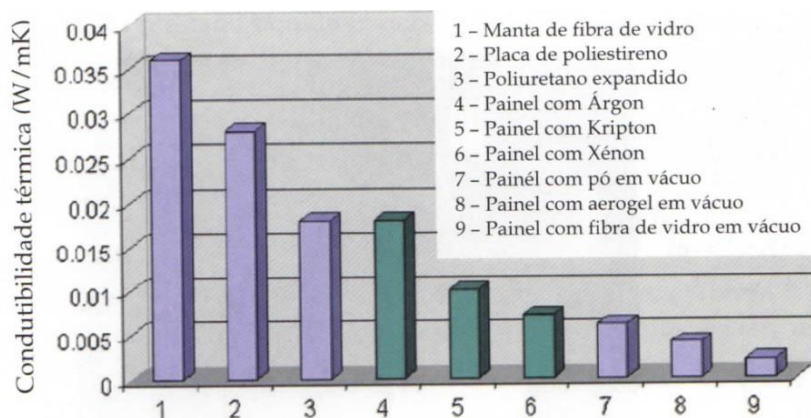


Figura 2.12 – Isolamentos térmicos convencionais e isolamentos térmicos de elevado desempenho [2]



Figura 2.13 – Espessura de um painel com vácuo e de um isolamento térmico corrente com o mesmo desempenho [2]

A incorporação de novas tecnologias que introduzam a preocupação pela redução dos consumos energéticos em edifícios deve fazer parte de uma realidade futura neste setor. Neste sentido, surgem os materiais de mudança de fase (PCM's), materiais orgânicos ou inorgânicos com a capacidade de alterar o seu estado físico em função da temperatura ambiente, absorvendo ou libertando calor durante o processo. Essencialmente estes materiais permitem, a minimização da descida da temperatura libertando energia para o interior dos edifícios nos períodos de arrefecimento e, a redução do aumento de temperatura através da absorção de calor nos períodos de aquecimento, proporcionando assim um maior conforto térmico aos habitantes [2].

As paredes dos edifícios são os elementos construtivos preferenciais para a aplicação de PCM's, especialmente em placas de gesso cartonado e em revestimentos à base de gesso. Como exemplo temos a incorporação de microcápsulas de PCM em pastas de gesso, onde o PCM é envolto num revestimento polimérico, sendo as microcápsulas posteriormente misturadas ao revestimento. Na Figura 2.14 está representada uma parede revestida por uma placa de gesso que pode variar entre 6 e 15 mm, incorporada com PCM [24].

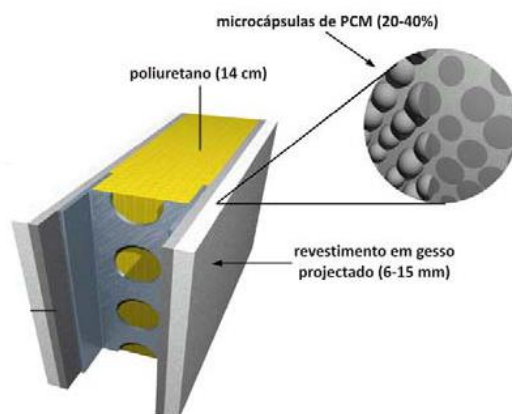


Figura 2.14 – Vista esquemática da estrutura da parede [24]

De entre as superfícies constituintes da envolvente, as coberturas são das principais responsáveis pelas perdas de calor num edifício. Como tal, a intervenção ao nível de isolamento térmico nestas superfícies constitui uma ação determinante no âmbito da eficiência energética dados os benefícios imediatos em termos da diminuição das necessidades energéticas do edifício que esta acarreta. Mais à frente, no decorrer deste trabalho serão abordadas algumas soluções construtivas de isolamento de coberturas na perspectiva de analisar e interpretar o desempenho ambiental dos materiais isolantes que integram essas mesmas soluções.

A importância de um bom nível de isolamento não se resume só à redução do consumo energético em edifícios mas também à saúde e conforto dos seus utilizadores, uma vez que, em edifícios com sistemas de isolamento ineficazes o arrefecimento dos espaços no Inverno é mais rápido, aumentando assim o risco de aparecimento de condensações no seu interior prejudiciais para a saúde e bem-estar dos seus utilizadores. Também a este nível importa referir a necessidade de ventilação adequada dos espaços interiores, assegurando a renovação do ar e a remoção do excesso de vapor de água produzido de modo a evitar condensações potencialmente prejudiciais para a saúde e conforto dos ocupantes [25].

Também neste contexto importa referenciar o papel dos vãos e envidraçados na eficiência energética de um edifício. Apesar da sua contribuição para o aquecimento do espaço interior através da entrada de luz natural e/ou energia solar quando localizados de forma adequada, estes representam uma significativa fonte de dissipação de calor, pois cerca de 20% das nossas necessidades de aquecimento e refrigeração são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados. Deste modo torna-se importante a preocupação com os tipos de caixilharia e envidraçados dos vãos a utilizar na perspectiva da poupança energética em edifícios [19].

A circulação não controlada de ar nas frestas existentes entre os caixilhos e os batentes das portas e janelas exteriores, conduz a perdas de calor por parte do edifício que necessitam de ser

controladas, num processo designado por calafetagem (Figura 2.15). Porém a adoção desta técnica, requer um estudo cuidadoso das suas condicionantes. É necessária a averiguação dos sistemas de renovação de ar, dada a possibilidade de inibição dos mesmos devido ao encerramento de todos os pontos de contacto com o exterior pela calafetagem, condicionando assim a boa qualidade do ar interior, que resultará em problemas de humidade [26].

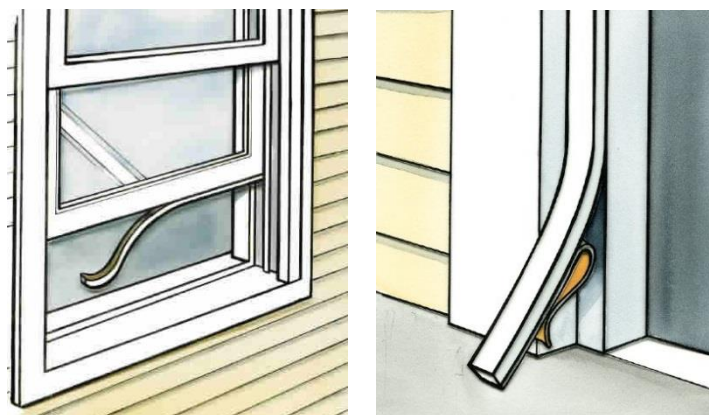


Figura 2.15 – Calafetagem em portas e janelas [27]

Com o intuito de aumentar o desempenho energético dos vãos envidraçados, a comunidade científica tem vindo a desenvolver novos produtos e técnicas no âmbito da transmitância dos envidraçados. Assim, um vidro dinâmico, ou seja com transmitância ajustável constitui uma solução eficaz para as diferentes necessidades térmicas e luminosas dos interiores das habitações.

As investigações levadas a cabo por Anna Llordés e sua equipa do Laboratório Lawrence Berkeley, nos Estados Unidos, tiveram os seus frutos, já que neste âmbito desenvolveram a denominada “janela inteligente”. O novo revestimento para janelas, feito com nanocristais que se ajustam eletronicamente permite regular de forma independente a luz e o calor, contribuindo assim para o conforto e economia de energia das habitações e edifícios (Figura 2.16a). Este tipo de janela permite aos utilizadores desfrutar da energia solar no Inverno, ou apenas da luz, deixando o calor no exterior durante o Verão (Figura 2.16b). Desta forma aumenta-se a eficiência energética dos edifícios, uma vez que se reduz a energia despendida com o aquecimento numa estação e economiza-se energia com ar-condicionado na outra [28].

A implementação deste tipo de solução no mercado é ainda limitada devido a alguns fatores a referir: preços elevados das opções existentes, o material tende a deteriorar-se e a perder eficácia ao longo do tempo e ainda as substâncias tóxicas que envolvem o seu processo de fabricação.

Contudo, é importante dar continuidade ao desenvolvimento de soluções inovadoras que permitam reduzir os gastos energéticos nos edifícios e tentar combater as suas possíveis lacunas.

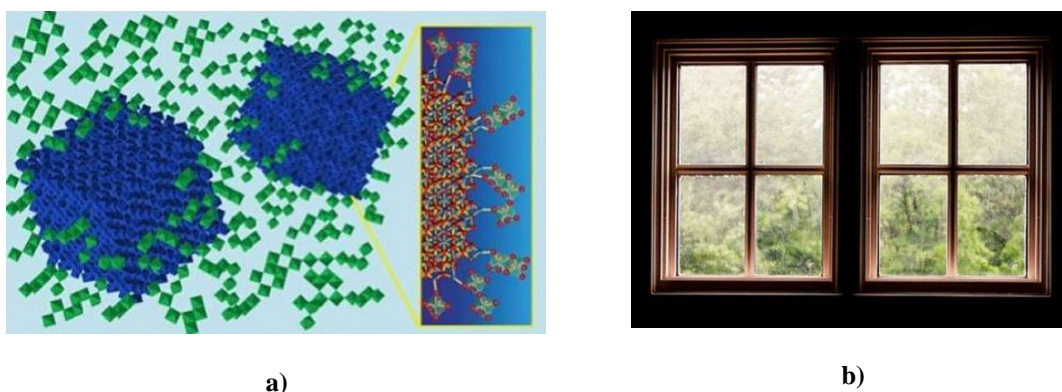


Figura 2.16 – Exemplo de uma janela inteligente: a) vista microscópica e b) aspeto geral da janela [28]

Ainda como fator a considerar na análise de procura de energia por parte do edifício e portanto condicionador das necessidades de climatização, surge a orientação do edifício. O estudo acerca da adequada orientação do edifício permite um melhor aproveitamento da energia solar de modo a reduzir gastos energéticos desnecessários. Em Portugal, a orientação que mais potencia os ganhos solares ao longo de todo o ano é a Sul, uma vez que é segundo esta orientação que o sol penetra para dentro dos edifícios na estação de Inverno, portanto as zonas com maior área de envidraçados devem orientar-se segundo esta direção. Os envidraçados devem ainda ser protegidos com sistemas de sombreamento, como por exemplo palas horizontais (Figura 2.17) de modo a evitar o excessivo aquecimento no Verão, otimizando assim o conforto dos utilizadores.

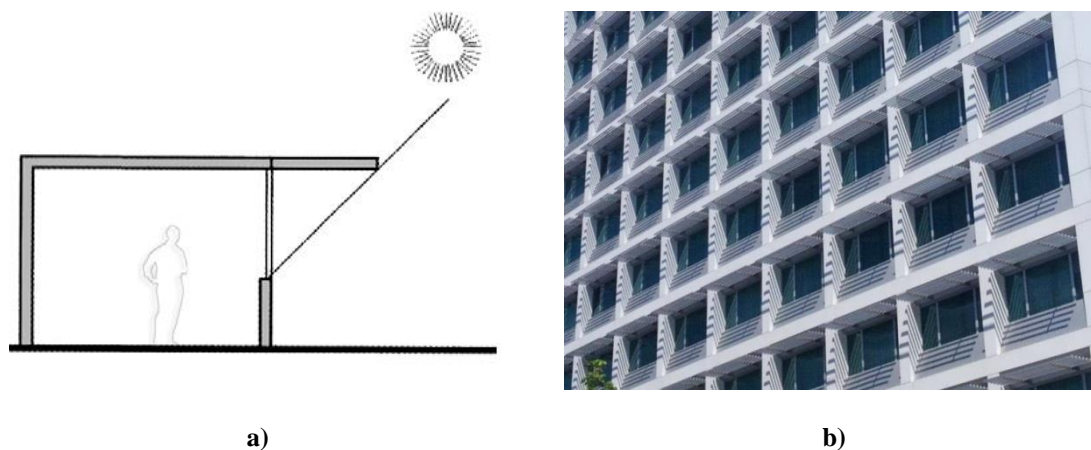


Figura 2.17 – Sistemas de sombreamento: a) incidência solar sobre a pala horizontal e b) Hotel Ipanema Park, Porto

No que diz respeito às cores utilizadas nas fachadas, também estas influenciam a eficiência e o conforto térmico dos edifícios, uma vez que uma superfície de cor preta absorve cerca de 90% da radiação incidente, enquanto uma superfície de cor branca reflete 80% da radiação. Posto isto, em regiões climáticas onde se preveja um acentuado contributo da envolvente por excessivos aumentos de temperatura, deve-se optar por acabamentos exteriores de cor clara

reduzindo assim, a absorção de calor por parte do material bem como o excessivo aumento da temperatura interior do edifício [19].

Tendo em conta o contributo da climatização para o excessivo consumo energético dos edifícios atualmente, é de todo necessário e urgente a incorporação de práticas mais sustentáveis na conceção e utilização dos edifícios por forma a minimizar os impactes ambientais a eles associados.

Como já vimos anteriormente o comportamento térmico dos edifícios influencia diretamente a sua eficiência energética. Como tal, e em resposta à necessidade de um instrumento que regulamentasse as condições térmicas dos edifícios, surge em 1990, o primeiro documento normativo nacional no âmbito da térmica de edifícios - RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico Dos Edifícios). Este documento tem como principal objetivo melhorar a qualidade térmica da envolvente dos edifícios, no sentido de satisfazer as condições de conforto térmico dos seus utilizadores sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão.

A crescente incorporação de equipamentos de climatização nos edifícios contribui ativamente para o aumento dos seus consumos energéticos, principalmente em edifícios de serviços, uma vez que estes representam cerca de 60% dos consumos neste tipo de edifícios em particular. Com o intuito de controlar e racionalizar este consumo de energia associado à climatização em edifícios surge o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio. Essencialmente este documento pretende que se implementem sistemas de climatização adequados, ou seja, que cumpram os requisitos de conforto térmico e de qualidade do ar, assegurando as condições de eficiência energética em simultâneo. Este documento assinala ainda um conjunto de medidas no sentido na racionalização dos consumos, como por exemplo a limitação da potência instalada em novos sistemas de climatização, a implementação de sistemas de monitorização e de gestão de energia, a recuperação do calor, entre outras [29].

As exigências e requisitos presentes nestes documentos relativos ao comportamento térmico dos edifícios e aos equipamentos de climatização constituíram um importante contributo para a redução do consumo energético que se verificou nas últimas décadas, porém a importância do papel dos projetistas na implementação de novas técnicas e novos materiais mais sustentáveis na construção é inequívoca e constitui uma ação determinante na procura de edifícios menos consumidores de energia e portanto mais sustentáveis.

2.2.1.2 Iluminação e eletrodomésticos

A iluminação e os eletrodomésticos representam uma parte significativa dos consumos energéticos do setor residencial, portanto é necessário encontrar soluções que conduzam à redução dos gastos energéticos a eles associados. No que diz respeito à iluminação de um determinado espaço deve-se ter em consideração as suas características, as suas funcionalidades e as fontes de luz disponíveis. Tendo em conta as duas formas de iluminação, natural ou artificial, é necessário encontrar sistemas mais eficientes por forma a minimizar os gastos energéticos e em simultâneo melhorar a qualidade e conforto das habitações. Nesta perspetiva, Ricardo Mateus, refere que um sistema de iluminação efetivo e eficiente deverá [9]:

- Assegurar um elevado grau de conforto visual;
- Utilizar iluminação natural;
- Assegurar um nível de iluminação adequado à atividade;
- Possibilitar o controlo da iluminação dos espaços por zonas;
- Possuir baixo consumo energético.

A preferência pela iluminação natural constitui uma ação fundamental no sentido da eficiência energética dos edifícios, uma vez que reduz custos de operação. Assim, logo na fase de projeto, é necessário orientar a construção de modo a que todos os compartimentos usufruam de iluminação natural, seja ela conseguida através de janelas, claraboias, etc. Contudo, fatores associados às condições climáticas e a noite, impedem a iluminação natural de suprir todas as necessidades de iluminação. Tendo em conta a necessidade imperativa de uma forma de iluminação complementar, surge a iluminação artificial que nas habitações é conseguida essencialmente através de dois tipos de lâmpadas: incandescentes e fluorescentes.

As lâmpadas incandescentes são o tipo de lâmpadas mais utilizadas na iluminação artificial no interior das habitações, porém com a crescente consciencialização dos problemas associados ao excessivo consumo energético dos edifícios, a utilização de lâmpadas fluorescentes tem-se vindo a acentuar nos últimos anos.

Essencialmente as lâmpadas incandescentes têm uma curta duração, são mais baratas e pouco eficientes, já que, só cerca de 5% da energia que consomem é convertida em energia luminosa. As lâmpadas halogéneas, que pertencem à família das incandescentes, têm maior durabilidade que as anteriores, apresentando também uma eficiência luminosa superior. (Figura 2.18) [30]. Relativamente às lâmpadas fluorescentes, importa destacar as fluorescentes tubulares e as fluorescentes compactas. (Figura 2.19) Este tipo de lâmpadas apresenta uma eficiência energética muito superior às incandescentes, pois consomem cerca de menos 80% de eletricidade para a mesma emissão luminosa. Para além disso a sua durabilidade é

incomparavelmente maior, uma vez que em média as lâmpadas incandescentes possuem uma duração de 1000 horas enquanto o tempo de duração estimado para as lâmpadas fluorescentes é de 8000 a 10000 horas [31].

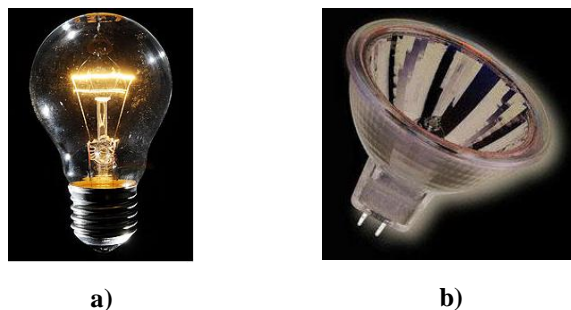


Figura 2.18 – a) Incandescente e b) de halogéneo [32]

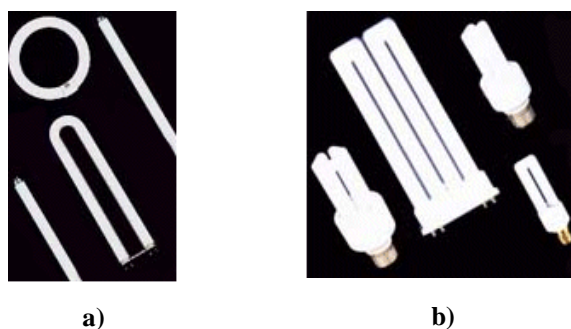


Figura 2.19 – Lâmpadas fluorescentes: a) compactas e b) tubulares [9]

O tempo de utilização do espaço influi na decisão sobre o tipo de lâmpada a utilizar, assim, em espaços que necessitem de iluminação artificial por longos períodos de tempo deve-se aplicar lâmpadas fluorescentes. De referir que todos os sistemas de iluminação produzem calor, porém as lâmpadas incandescentes são aquelas que menos convertem a energia que consomem em energia luminosa, logo a sua produção de calor é maior. Este facto pode acentuar as necessidades de arrefecimento das habitações e por consequente o seu aumento de consumo energético.

O comportamento ineficiente evidenciado pelas lâmpadas incandescentes a nível energético levou a União Europeia a implementar medidas contra o uso deste tipo de lâmpadas. Deste modo, espera-se uma redução significativa da utilização das lâmpadas incandescentes e uma consequente redução no consumo de energia dos edifícios dos países membros [30].

Ainda de encontro com a procura de edifícios energeticamente mais eficientes deve-se optar por circuitos de iluminação separados, ou seja, comandados por interruptores independentes de modo a controlar a quantidade de lâmpadas acesas no edifício num determinado momento. A iluminação em espaços frequentemente pouco utilizados pode ser controlada por interruptores

de sensores de movimento, porém este tipo de solução consome continuamente uma certa quantidade de energia.

Os eletrodomésticos, por sua vez, também constituem uma elevada fonte de consumo energético, uma vez que grande parte destes aparelhos está continuamente em funcionamento. A crescente implantação dos eletrodomésticos nas habitações que se tem verificado devido à evolução tecnológica, tem-se revelado um motivo de preocupação para as entidades responsáveis pelo controlo e regulação dos consumos energéticos dos edifícios na União Europeia.

Neste sentido surgem, através da Diretiva 92/75/CEE do Conselho das Comunidades Europeias de 22 de Setembro de 1992, as etiquetas energéticas. Estas etiquetas contêm a classe de eficiência energética dos eletrodomésticos e ainda algumas informações adicionais acerca do nível de ruído e do consumo anual de energia e de água, permitindo assim ao consumidor aceder a uma informação mais detalhada acerca dos custos de funcionamento dos equipamentos. A etiquetagem dos eletrodomésticos começou por ser realizada segundo sete classes energéticas distintas (Classe A a G), sendo que, classe A é a mais eficiente e a classe G a menos eficiente, evoluindo posteriormente para um modelo também com sete classes mas que varia entre A+++ e D, como a Figura 2.20 elucida [33].



Figura 2.20 – Modelo atual das etiquetas energéticas em eletrodomésticos [33]

Os fornecedores são responsáveis pela exatidão da informação fornecida bem como pela obrigatoriedade da substituição da etiqueta anterior pela atual nos eletrodomésticos de frio doméstico, máquinas de lavar roupa e máquinas de lavar louça, colocados no mercado a partir do início de 2012.

A implementação de normas e regulamentos que visem a redução do consumo energético de determinados equipamentos, constitui um passo importante no incentivo dos consumidores à compra de equipamentos cujo investimento inicial poderá ser mais elevado, mas que devido ao

seu alto índice de eficácia energética durante o seu funcionamento acabem por compensar esse mesmo investimento.

2.2.1.3 Produção de água quente (AQS)

A energia despendida na produção de água quente representa a parcela mais significativa dos consumos energéticos dos edifícios em Portugal, tendo assim uma influência considerável nas emissões de CO₂. Desta maneira, deve-se incentivar a procura de técnicas/sistemas de aquecimento de água mais eficientes, promovendo atitudes que vão de encontro com os princípios da construção sustentável na medida em que se potencia a redução do consumo de energia e a diminuição da emissão de gases com efeito de estufa.

Os principais responsáveis pela necessidade de produção de água quente nas habitações são as instalações sanitárias e as cozinhas. Essencialmente existem dois tipos principais de sistemas de aquecimento de água: sistemas instantâneos e sistemas de acumulação.

Os sistemas instantâneos como o próprio nome indica, aquecem a água rapidamente no momento em que esta é solicitada, não possuindo portanto nenhum depósito de armazenamento (Figura 2.21a). O processo de funcionamento destes sistemas é relativamente simples, na medida em que a água é aquecida num permutador que está exposto a uma chama de um queimador a gás propano, butano ou natural. É de salientar ainda que este sistema necessita de alguma pressão de água na rede e que a ativação de vários dispositivos sanitários condiciona a temperatura da água fornecida.

Relativamente aos sistemas de acumulação ou termoacumuladores é de notar que este não depende da pressão de água na rede, fornecendo uma quantidade regular de água, uma vez que possuem um reservatório isolado para armazenamento de água (Figura 2.21b). De realçar ainda que a potência e a capacidade destes aparelhos são os responsáveis pelo tempo necessário ao aquecimento da água e pelas possíveis oscilações de temperatura da água durante o seu período de utilização.

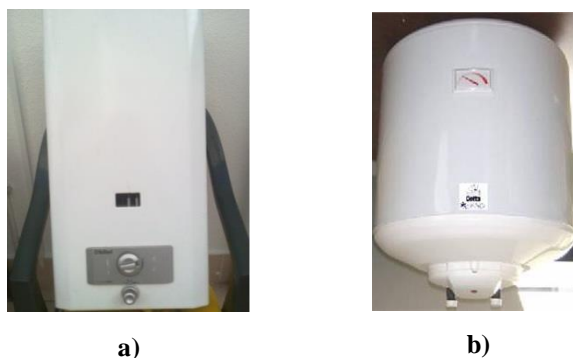


Figura 2.21 – Sistemas de aquecimento de água: a) sistema instantâneo a gás e b) sistema de acumulação elétrico [34]

De entre os sistemas termoacumuladores, destacam-se os que são combinados com a instalação de painéis solares uma vez que estes permitem o aquecimento de águas através de fontes de energia renováveis. Este sistema é constituído por um painel que recebe a luz solar, um permutador onde circula o fluido de aquecimento e um depósito para armazenamento da água quente, permitindo assim a transformação de energia solar em energia térmica [35].

Este tipo de sistemas, quando bem dimensionado, constitui um valioso contributo na redução da energia despendida na produção de água quente para uso doméstico, porém no Inverno ou em períodos de tempo cuja necessidade de água quente ultrapasse a sua produção, tem de se recorrer a sistemas de aquecimento auxiliares por forma a suprir todas as necessidades no fornecimento de água quente. Normalmente recorre-se a sistemas de aquecimento auxiliares convencionais (caldeira a gás, caldeira de gasóleo, etc.) que entram em funcionamento sempre que o sistema de painéis solares não conseguir atender às necessidades relativas ao fornecimento de água quente [35].

Um sistema de energia solar tem de ser devidamente dimensionado a fim de evitar excessivos consumos de energia. Desta forma, deve-se ter em conta o número de utilizadores, por forma a estimar a quantidade de água quente necessária e assim proceder à escolha acertada das dimensões e do tipo de sistema. Também os custos associados a este sistema (aquisição, operação, manutenção) e a sua vida útil são parâmetros a ter em conta, para que o investimento associado a este sistema seja rentabilizado durante a sua vida útil através da redução na fatura energética. Posteriormente, na fase de implantação dos painéis solares, a sua inclinação e orientação são as principais preocupações quando se pretende maximizar a eficiência do sistema (Figura 2.22).



Figura 2.22 – Painel solar de aquecimento de água de uma habitação [36]

2.2.1.4 Integração de energias renováveis

A maior parte de energia produzida em Portugal resulta da utilização de reservas fósseis não renováveis. Ora, este facto para além da consequência óbvia relacionada com o consumo de recursos não renováveis, contribui para o aumento de emissões de carbono para a atmosfera.

A distribuição muito díspar que ainda se verifica na origem da energia consumida em Portugal, por parte de fontes renováveis (17%) e fontes não renováveis (83%) deve constituir um fator de preocupação, de modo a que no futuro se opte por energias que garantam a preservação dos recursos naturais, que protejam os ecossistemas e que contribuam para a redução de emissões de gases para a atmosfera.

Na Figura 2.23 apresenta-se a proveniência da energia consumida em Portugal, onde se pode constatar que de entre as fontes renováveis, a energia hídrica é a mais representativa (11%), seguindo-se a biomassa (3%) e as energias solar, eólica e geotérmica (3%). É portanto necessário e importante o incentivo à utilização deste tipo de energia, pois estas poderão ser utilizadas no fornecimento de uma parcela significativa da energia nos edifícios e contribuir para a racionalização de energia e redução da fatura energética [37].

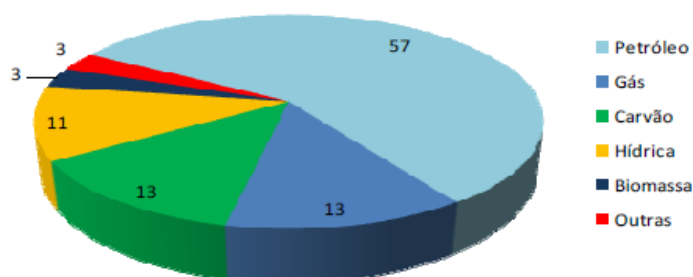


Figura 2.23 – Origem da energia consumida [37]

Do ponto de vista económico é também importante promover a implantação e utilização de fontes de energia renovável como o sol, vento e água por forma a minimizar a importação de energia e, se possível fazer de Portugal um país exportador de energia. Atendendo às diretivas europeias que pretendem aumentar a utilização de fontes renováveis na produção de eletricidade em detrimento das não renováveis, existe em Portugal o programa “Renováveis na Hora”.

Como já foi referido anteriormente nesta dissertação, grande parte da responsabilidade da subida do consumo de energia está relacionado com o aumento número de pessoas com acesso a eletricidade. Nesta ótica surgem os sistemas de microprodução, como por exemplo sistemas fotovoltaicos e eólicos, que consistem na produção de eletricidade em pequena escala para consumo próprio ou para vender à rede pública a partir de fontes renováveis.

Os sistemas fotovoltaicos permitem a conversão da energia libertada pelo sol, sob a forma de radiação solar, em energia elétrica. Ao nível dos edifícios este tipo de sistema pode ser integrado ao nível das fachadas e coberturas, sendo a sua orientação um dos principais fatores no rendimento de produção de eletricidade (Figura 2.24). Este tipo de sistema está também dependente do período do dia, época do ano e condições climáticas, já que a radiação solar varia com as referidas condições, influenciando assim o rendimento do sistema. Apesar dos custos de manutenção e operação neste tipo de sistema serem reduzidos, o custo de investimento inicial elevado conduz à desistência por parte de potenciais investidores. De salientar ainda que a reduzida eficácia destes sistemas na conversão de energia solar em energia elétrica, constitui um entrave à proliferação da sua implementação em edifícios [38].

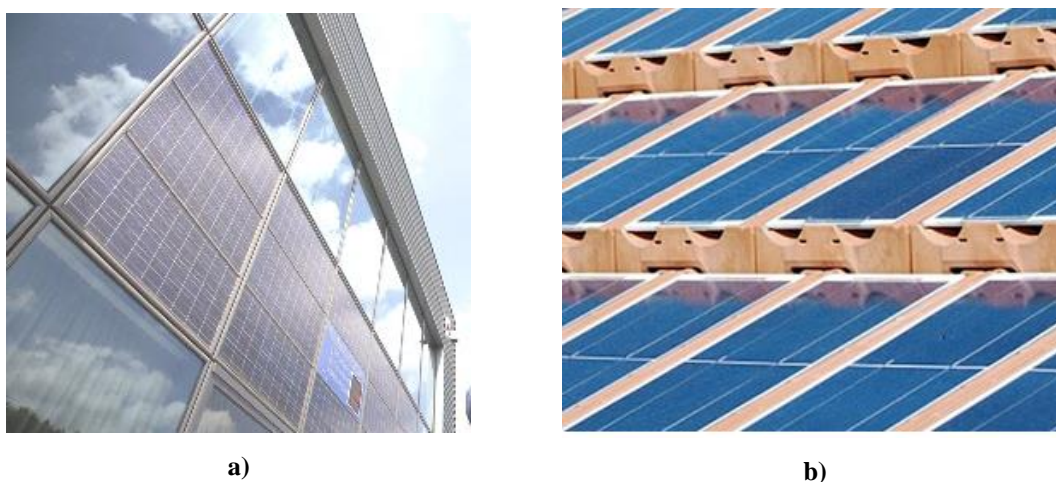


Figura 2.24 – Sistemas fotovoltaicos: a) fachada fotovoltaica e b) telhas fotovoltaicas [9]

Ainda no domínio das energias renováveis, surgem os sistemas de microprodução eólicos, que permitem a conversão da energia do vento em energia elétrica através de um aerogerador. O aerogerador é formado por turbinas eólicas e por um gerador (Figura 2.25). No processo de produção de energia eólica, a energia cinética do vento produz o movimento da turbina eólica (energia mecânica) que por sua vez ativa o gerador onde os campos magnéticos convertem energia rotacional em energia elétrica [38]. A energia eólica pode revelar-se uma opção economicamente mais viável do que outro tipo de energia renováveis como a energia solar ou geotérmica, desde que aplicada em corretas condições de instalação e funcionamento [39].

Também este tipo de sistemas depende em larga escala das condições climáticas, por isso é conveniente que a sua utilização seja feita em zonas tipicamente ventosas, por forma a rentabilizar este tipo de energia. Todavia, devido às constantes mudanças meteorológicas nem sempre se produzem condições favoráveis ao funcionamento destes sistemas, portanto é necessário prever a implementação de sistemas complementares que se encarreguem do fornecimento de eletricidade nestas situações.



Figura 2.25 – Aerogerador doméstico

Ainda na área da microprodução, muitas vezes a energia mecânica da água em movimento é transformada em energia elétrica através de micro-hidrogeradores. Quando comparado com painéis fotovoltaicos ou aerogeradores, este tipo de sistema representa uma fonte de energia mais fiável uma vez que a influência das condições climáticas no seu rendimento não é tão acentuada. As nascentes de água situadas nas encostas, são muitas vezes utilizadas como local de instalação deste tipo de sistema (Figura 2.26) [9].



Figura 2.26 – Micro-hidrogerador instalado numa nascente [9]

A energia armazenada debaixo da superfície terrestre sob a forma de calor (energia geotérmica) pode ser utilizada no aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) e climatização de habitações. Alguns países desenvolvidos, como a Suíça, Alemanha e Áustria, recorrem já em larga escala a este tipo de energia, uma vez que representa uma solução economicamente viável na poupança de energia no aquecimento das habitações e protetora do Meio Ambiente na medida em que não produz qualquer tipo de gases de efeito de estufa.

A instalação do sistema geotérmico necessita basicamente de um captor exterior para recolher o calor presente no solo, uma bomba de calor para transformar e transferir o calor e por fim um sistema de transmissão do calor para o interior da habitação: radiadores, piso radiante, ventilo-convetores, etc. Porém, este sistema não é completamente autónomo, uma vez que necessita de energia elétrica para que a bomba de calor produza energia térmica [37,40].

Na Figura 2.27 apresentam-se dois tipos diferentes de captação de energia geotérmica. A captação horizontal, devido à sua facilidade e economia de instalação é o sistema mais comum. Os captadores são colocados a uma profundidade de cerca de 70 cm e é necessária uma área para colocação dos captadores cerca de 1,5 superior à área a climatizar. A captação vertical, apesar de ser um método energeticamente mais eficiente apresenta um custo de instalação superior e aplica-se em situações em que não haja terreno disponível para aplicar a captação horizontal. No sistema de captação vertical, as sondas geotérmicas assumem uma profundidade na ordem dos 100 m [40].

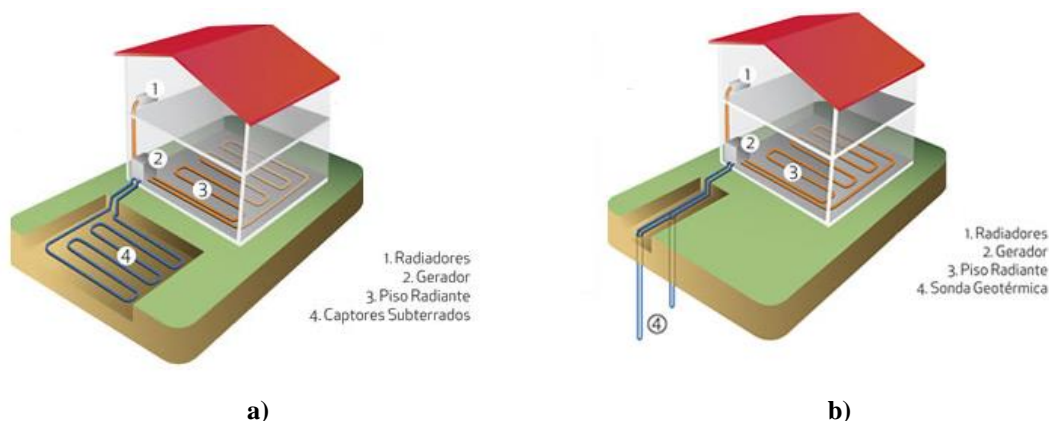


Figura 2.27 – Sistema de captação: a) horizontal e b) vertical [41]

Quando se fala em energia da biomassa, refere-se à fração biodegradável de produtos e resíduos industriais, da agricultura e florestas que são passíveis de aproveitamento energético, gerando calor que poderá ser utilizado no aquecimento de habitações, edifícios ou complexos industriais.

A utilização deste tipo de energia é utilizada desde há muitos anos a esta parte através de lenha e pinhas como forma de aquecimento das habitações. A elevada potencialidade da utilização deste tipo de matéria no aquecimento de habitações serviu de incentivo à criação de novos equipamentos, mais eficazes e versáteis no sentido de melhor satisfazer as necessidades dos utilizadores. De entre os vários tipos de biomassa existente destacam-se os *pellets*, um granulado de madeira, derivado de resíduos florestais e dos desperdícios da indústria da transformação da madeira.

A incorporação destes novos produtos de biomassa, constitui uma solução energeticamente eficaz devido ao seu elevado rendimento na produção de calor, permite um controlo de temperatura com alimentação automática e ainda tem a vantagem de não emitir fumos para o interior da habitação. Uma das soluções que tem vindo a impor-se no mercado são os recuperadores de calor a *pellets*, estes sistemas possuem a caixa de combustão separada do ar interior da habitação, podendo posteriormente distribuir o ar quente para outros espaços da habitação através de tubagem (Figura 2.28) [42].



Figura 2.28 – Recuperador de calor a pellets

Em suma, pode-se afirmar que dentro da indústria da construção, o setor dos edifícios é responsável por uma parcela muito significativa dos consumos energéticos. Neste contexto, importa reduzir/minimizar os consumos associados às fases de produção e aplicação em obra dos materiais de construção, de reabilitação/demolição dos materiais/elementos construtivos e de manutenção/operação dos edifícios.

Os principais atores e intervenientes nos processos de construção devem exercer um papel ativo e inovador na procura de materiais e soluções construtivas mais sustentáveis e que contribuam para o aumento da eficácia energética dos edifícios. Deste modo consegue-se direccionar o pensamento para o desenvolvimento sustentável das construções e para a redução dos impactes ambientais adjacentes ao excessivo consumo de energia.

2.2.2 A sustentabilidade e a água

Da enorme quantidade de água existente no planeta, só cerca de 3% corresponde a água doce, sendo 2% relativa aos glaciares e o restante 1% relativo à água potável destinada ao consumo humano que está essencialmente ligada às águas subterrâneas e às águas de lagos e rios (Figura 2.29). Esta realidade reforça a importância de uma gestão responsável e eficaz da utilização da água por parte dos cidadãos.

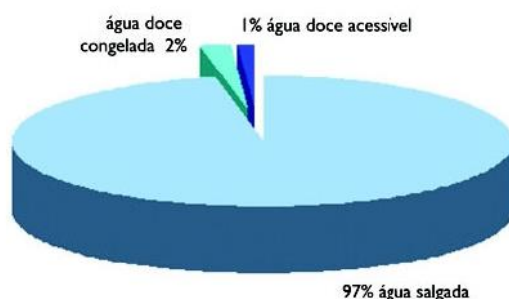


Figura 2.29 – Distribuição da água no Planeta

O crescente aumento da população e das condições de vida das pessoas que se verificaram ao longo dos últimos anos são fatores que potenciam o aumento do consumo de água. O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de uma parte significativa dos recursos existentes na Natureza, desta maneira importa cultivar e orientar pensamentos no sentido da obtenção de edificações mais sustentáveis de forma a evitar o consumo excessivo de recursos naturais.

Segundo Barroso, apesar dos diversos fatores que condicionam a utilização da água nas habitações, como o seu número de habitantes e os seus hábitos de consumo, pode-se afirmar que a quantidade de água utilizada na fase de construção é incomparavelmente inferior (cerca de 0,6%) à utilizada na fase de operação/utilização (cerca de 99,4%) [43].

No que diz respeito ao consumo de água nos edifícios importa então, informar/consciencializar os utilizadores e encontrar estratégias que promovam a racionalização de água. A responsabilização por parte dos utilizadores constitui um passo determinante para a minimização do consumo de água em edifícios e para um conseqüente progresso do conceito de sustentabilidade no setor da construção. [44].

Assim sendo, a procura da redução do consumo de água deve ser iniciada logo desde a fase de projeto, onde as entidades competentes devem ser rigorosas e criteriosas na seleção de materiais de construção que incorporem baixas quantidades de água durante todo o seu ciclo de vida (desde a sua extração à sua deposição) e na seleção de equipamentos, aparelhos sanitários e dispositivos mais eficientes. A incorporação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de águas cinzentas constitui também uma medida fulcral para atingir os objetivos associados à otimização do desempenho hídrico nas edificações.

Apesar do consumo de água relacionado com a extração e produção dos materiais de construção não representar a maior parcela dos consumos de água em edifícios, este tema deve merecer alguma atenção por parte principais intervenientes nos processos de construção, no sentido de se reduzir o consumo de recursos naturais utilizados nas edificações, optando sempre que possível, por materiais com menor índice de consumo de água ao longo do seu ciclo de vida. Neste contexto, apresenta-se na Tabela 2.2 a quantidade água consumida por alguns materiais de construção no seu processo de produção.

Tabela 2.2 – Água utilizada na produção de alguns materiais de construção [45]

Material	Consumo de água (litros/kg)
Aço não reciclado	3400
Cobre não reciclado	15900
Alumínio não reciclado	29000
Chumbo não reciclado	1900
Vidro	680
Lã de Rocha	1360
Gesso	240
Betão	170
Argilas (telhas cerâmicas)	640
Argamassa de cimento	170

2.2.2.1 Dispositivos e eficiência hídrica

Quando se pensa na redução do consumo de água em edifícios, deve-se salientar a preponderância da eficiência dos aparelhos e dispositivos utilizados, pois estes estão associados aos elevados consumos que se verificam nos edifícios na sua fase de operação/utilização. Nesta ótica, a Figura 2.30 apresenta o consumo de água potável de alguns aparelhos utilizados nas edificações que devem ver o seu desempenho hídrico melhorado por forma a otimizar a utilização da água.

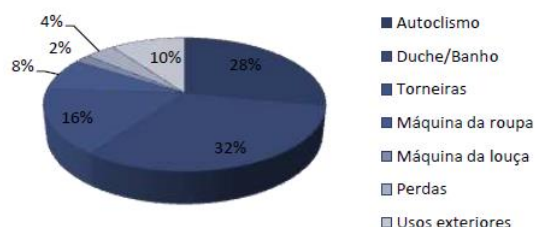


Figura 2.30 – Consumo de água potável num edifício [46]

Como se pode atestar pela figura anterior, os autoclismos, os chuveiros e as torneiras são os dispositivos que mais influenciam os consumos de água nos edifícios, como tal importa procurar opções alternativas mais eficazes principalmente para este tipo de equipamentos.

Neste sentido, em 2008, a Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), introduziu em Portugal um sistema voluntário de certificação e rotulagem de determinados equipamentos, com o intuito de promover a utilização de dispositivos com maior eficiência hídrica nos edifícios. Basicamente o sistema referido funciona numa escala de A a E, onde os dispositivos classificados com a letra “A” representam uma eficiência considerada ideal, tendo em conta fatores como o conforto das utilizações e a performance dos dispositivos.

A introdução das categorias A+ e A++ está relacionada com algumas aplicações especiais, nomeadamente com a inclusão de dispositivos que permitem a redução do caudal dos equipamentos (Figura 2.31) [44].

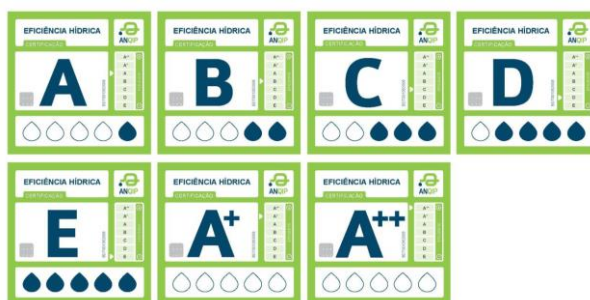


Figura 2.31 – Rótulos de eficiência hídrica da ANQIP [44]

A introdução deste sistema voluntário de certificação e rotulagem de eficiência hídrica de produtos representa uma mais-valia, pois permite aos consumidores adquirirem informações valiosas e imediatas acerca da eficiência hídrica do produto/equipamento.

De forma a melhor compreender o potencial de poupança dos dispositivos nos consumos de água, apresenta-se na Tabela 2.3, que ilustra a diferença entre os caudais ideais (dispositivo classificado com a letra “A”) e os caudais regulamentares.

Tabela 2.3 – Caudal ideal e caudal regulamentar [44]

Dispositivo	Caudal ideal Q (l/min)	Caudal regulamentar (l/min)
Torneiras de lavatório	$Q \leq 2,0$	6,0
Chuveiro	$5,0 < Q \leq 7,2$	9,0
Sistema de duche	$5,0 < Q \leq 7,2$	9,0
Torneiras de cozinha	$Q \leq 4,0$	12,0

– Torneiras

Analisando a tabela anterior rapidamente se percebe que tanto ao nível de torneiras de lavatório, como de cozinha, o caudal regulamentar é significativamente superior ao caudal considerado como ideal. Ora este facto evidencia a importância da introdução de novos equipamentos que permitam a redução de caudal, por forma a atingir objetivos satisfatórios na redução do consumo de água nos edifícios.

Desta maneira, os fabricantes começaram a orientar o pensamento no sentido de produzirem produtos/equipamentos responsáveis por um menor consumo de água, aparecendo então no mercado as denominadas torneiras de baixo caudal.

Quando se fala em torneiras de baixo caudal, tem se ter em conta as possíveis sensações de desconforto causadas aos utilizadores. No sentido de se reduzir o caudal e simultaneamente combater esta limitação associada a este tipo de torneiras, surgem alguns dispositivos a saber [47]: arejador, pulverizador, redutor de fluxo laminado e sistemas combinados de arejador e pulverizador.

Como exemplo, apresenta-se na Figura 2.32 o sistema combinado de arejador e pulverizador que permite ao utilizador seleccionar a função que pretende, ou de arejador ou de pulverizador, através da rotação da ponteira. A utilização preferencial deste tipo de dispositivo acontece nas torneiras de cozinha.

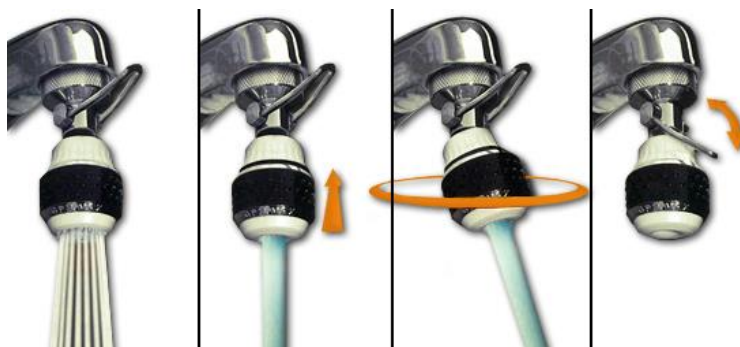


Figura 2.32 – Economizador com função arejador e pulverizador [48]

Em síntese, os sistemas anteriormente referenciados conseguem manter um caudal constante independentemente da pressão existente na rede, desta maneira limita-se o desconforto para pressões baixas e consegue-se uma boa eficácia mesmo para pressões altas.

Também importa referir que a aplicação deste tipo de dispositivos, devido aos seus caudais reduzidos, pode interferir com a ativação dos aparelhos de produção de água quente instantânea. De forma a auxiliar os consumidores na seleção do dispositivo mais adequado para a sua situação, a Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (ANQIP) criou um sistema de certificação que tem por base a elaboração de curvas caudal-pressão [47].

– Chuveiros

Os chuveiros são equipamentos com elevado potencial de redução do consumo de água, pois substituindo um chuveiro convencional que possui um caudal médio de 13 litros por minuto, por outro mais eficiente, cujo caudal ronde os 7 litros por minuto, consegue-se atuar eficazmente na redução do consumo de água sem que para isso seja necessário um investimento muito significativo [9].

De seguida apresentam-se alguns chuveiros de baixo caudal que, quando aplicados corretamente e para as situações adequadas, constituem uma valorosa medida para a poupança de água nas edificações (Figura 2.33).



Figura 2.33 – Tipos de chuveiros: a) com emulsionador de ar e b) chuveiro com spray [47]

Apesar do papel ativo que desempenham na redução do consumo de água, estes dispositivos apresentam alguns inconvenientes, como seja a não ativação dos aparelhos de produção de água quente instantânea devido aos seus caudais reduzidos e também o potencial risco de escaldão que advém das variações de caudal na água quente ou fria que acontece neste tipo de dispositivos [47].

– Bacias de retrete - Autoclismo

Este tipo de equipamento representa uma parcela bastante significativa dos consumos de água associados às edificações, portanto é fulcral a procura de soluções inovadoras que contribuam para o aumento da eficiência hídrica.

Neste âmbito, a ANQIP veio dar uma preciosa ajuda aos consumidores, através do desenvolvimento de um sistema de classificação para a eficiência hídrica dos produtos que permite rapidamente identificar quais os produtos hidricamente mais eficientes.

Ao nível dos autoclismos das bacias de retrete, a ANQIP através da especificação técnica ETA 0804, apresenta os caudais máximo e mínimo para os autoclismos das bacias de retrete ideais (classificados com a letra “A”) para os diferentes tipos de descarga do autoclismo (Tabela 2.4) [49].

Tabela 2.4 – Caudais ideais para os autoclismos das bacias de retrete

Tipo de descarga	Caudal máximo	Caudal mínimo
	(l/descarga)	(l/descarga)
Simples	4,0 – 4,5	---
Dupla	6,0 – 6,5	3,0 – 4,0
Com interrupção	4,5 – 5,5	---

Perante a necessidade de racionalizar o uso de água nas habitações é necessário desenvolver algumas medidas que visem o cumprimento dos objetivos relativos à eficiência hídrica das edificações. Nesta ótica, pretende-se que se opte por autoclismos de menor capacidade, utilizando autoclismos de 6 litros em detrimento dos de 9 litros, conseguindo desta maneira uma poupança de 3 litros por cada descarga efetuada. É importante também privilegiar autoclismos de dupla descarga ou com comando de interrupção de descarga (Figura 2.34) [9].



Figura 2.34 – Sistema de descarga: a) de dupla descarga e b) de interrupção automática

Ainda enquadrados numa perspetiva de redução do consumo de água nas habitações, surge o sistema de sanita seca, de onde se destaca o sistema de compostagem. O processo de funcionamento deste sistema requer quantidades de água muito reduzidas e consiste no direcionamento dos dejetos e do papel higiénico para um reservatório onde, através do processo de compostagem, são decompostos num produto final que pode ser utilizado posteriormente como fertilizante (Figura 2.35). Este tipo de sistema requer um sistema paralelo de ventilação, por forma a garantir o correto arejamento do processo de compostagem. Assim, a utilização deste tipo de sistema implica uma manutenção assídua e eficiente a fim de evitar potenciais problemas de saúde dos seus utilizadores [50].

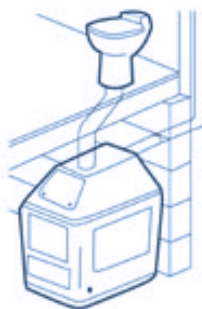


Figura 2.35 – Sanita compostora com reservatório independente

– Máquinas de lavar roupa e de lavar loiça

Este tipo de dispositivos, apesar de não serem os principais responsáveis pelos exagerados consumos de água que se verificam nos edifícios, também contribuem para as necessidades de água do edifício, como tal é importante consciencializar os utilizadores de forma a selecionarem equipamentos eficientes.

A forma como estes equipamentos são utilizados também influencia os seus índices de consumo de água, como tal importa minimizar o número de lavagens, utilizar a máquina com carga completa e selecionar programas económicos, conducentes a menor consumo de água.

Na Austrália, a etiqueta do consumo de água é obrigatória em alguns equipamentos utilizados nos edifícios (Figura 2.36). Desta maneira, os utilizadores possuem uma informação mais detalhada sobre os equipamentos e os seus consumos, tendo assim a oportunidade de selecionar modelos com menores consumos de água associados.



Figura 2.36 – Etiqueta da Austrália relativa ao consumo de água dos equipamentos [9]

2.2.2.2 Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Com o intuito de reduzir o consumo de água das edificações é necessária a implantação de novas soluções/técnicas construtivas. Este objetivo deve ter início logo na fase de projeto, com intervenções no âmbito do aproveitamento das águas pluviais e na reutilização e reciclagem das águas cinzentas.

No que diz respeito à regulamentação em Portugal, a ANQIP elaborou duas especificações técnicas relativas ao aproveitamento das águas pluviais, a ETA 0701, que estabelece critérios técnicos para a realização de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) em edifícios, para outros fins que não o consumo humano, e a ETA 0702, que estabelece as condições para a certificação dos Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais, executados conforme as especificações da ETA 0701 [51].

A introdução de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) nas edificações pode constituir uma solução viável e eficaz na redução do consumo de água. Basicamente, o processo de funcionamento destes sistemas consiste na recolha da água das chuvas através de caldeiras situadas no telhado das habitações, que posteriormente será conduzida pelos tubos de queda até ao reservatório. Estas águas podem ser utilizadas para diversos fins: em sistemas de rega, sistemas de combate a incêndios, na lavagem de pavimentos e veículos, descargas em autoclismos ou em máquinas de lavar roupa (Figura 2.37). Porém, importa salientar que o destino final da água influencia os processos de tratamento, ou seja, quando a utilização pretendida está relacionada com usos domésticos, devem ser aplicadas técnicas de filtração e desinfecção. Se a sua utilização se destina à lavagem de pavimentos e veículos ou sistemas de rega, o tratamento é muitas vezes desnecessário [52,53].

Quando se equaciona a implementação deste tipo de sistema é necessário ter em consideração a sua relação custos/benefícios. De entre os vários elementos constituintes dos SAAP, o reservatório é aquele que representa um maior investimento, como tal é importante analisar parâmetros relacionados com a sua localização, com o tipo de material a utilizar e com a sua capacidade. Aspeto também importante a ressaltar neste tipo de sistema é a sua adequada operação e manutenção, uma vez que a realização de inspeções periódicas e a limpeza das caldeiras, dos tubos de queda e dos reservatórios contribui eficazmente para a preservação da qualidade da água [54].



Figura 2.37 – Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais [55]

2.2.2.3 Sistemas de reutilização e reciclagem de águas cinzentas

Neste âmbito, a Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais elaborou duas especificações técnicas concernentes à reutilização de águas cinzentas, a ETA 0905, que estabelece critérios técnicos para a realização de Sistemas Prediais de Reutilização e Reciclagem de Águas Cinzentas (SPRAC) e a ETA 0906, que apresenta as condições para a certificação dos SPRAC [56].

Relativamente aos Sistemas Prediais de Reutilização e Reciclagem de Águas Cinzentas (SPRAC), importa esclarecer que entende-se por águas cinzentas, as águas provenientes de descargas de lavatórios, bidés, banheiras e chuveiros. O aproveitamento das águas cinzentas realiza-se essencialmente ao nível das descargas de autoclismo, de sistemas de rega e de sistemas de combate a incêndios. A reutilização deste tipo de águas, normalmente implica um tratamento específico, baseado em processos de filtração e desinfecção, mediante a qualidade de água recomendada e o uso a que destina. Apesar destes sistemas contribuírem para a minimização do consumo de água nas edificações, a sua utilização não é ainda unanimemente aceite por todos os países, uma vez que para alguns países, a sua utilização acarreta riscos para a saúde pública [43].

Segundo Miranda, aquando a escolha da solução a implementar no âmbito da reutilização das águas cinzentas devem considerar-se vários fatores, a saber [44].

- O tipo de tecnologia associado ao tratamento das águas residuais;
- A qualidade das águas residuais tratadas;
- O balanço hídrico entre a procura e a oferta de água para reutilizar, ou seja, o volume de água necessário para determinada utilização e o volume de águas residuais tratadas;
- As infraestruturas necessárias à materialização da reutilização, como o reservatório e os sistemas de distribuição;
- A sustentabilidade económica dos sistemas de reutilização;
- A redução dos impactes ambientais associados à reutilização.

Em suma, pode afirmar-se que a introdução de soluções inovadoras como os sistemas de aproveitamento de águas cinzentas e pluviais contribui de uma forma ativa e eficiente na redução dos consumos de água nas edificações. Porém, e visto que a maior parte dos consumos de água é proveniente da fase de operação/manutenção, o papel dos consumidores é fundamental uma vez que é de sua responsabilidade a seleção de dispositivos/equipamentos hidricamente mais eficientes e o uso racional da água. Desta forma, assume-se um comportamento responsável a nível ambiental e económico, realizando mais um importante passo na caminhada rumo à obtenção de construções mais sustentáveis.

2.2.3 A sustentabilidade e os materiais

Os materiais de construção e principalmente a sua correta seleção assumem um papel preponderante no setor da construção civil. A incorreta seleção dos materiais adequados pode levar ao encarecimento da obra, podendo mesmo influir negativamente a funcionalidade e durabilidade dos espaços que compõem.

Dentro do panorama da construção sustentável, os impactos ambientais causados pela extração das matérias-primas necessárias para a produção de materiais de construção, será uma das questões mais problemáticas a ter em conta. Entre 1980 e 2002 a extração total de recursos naturais cresceu de 40 para 55 biliões de toneladas [2,11,57].

Os efeitos nefastos do processo de extração de matérias-primas refletem-se na destruição da biodiversidade dos locais e na produção de resíduos resultantes dessa atividade. Ainda a nível ambiental é importante salientar que à extração, processamento e transporte dos materiais utilizados na construção estão associadas quantidades significativas de poluição. Posto isto, de forma minimizar os impactos produzidos pela utilização dos materiais de construção devem ser adotados alguns critérios no processo de seleção dos materiais, logo desde a fase de projeto. Como tal, devem-se privilegiar os materiais [2]:

- Não tóxicos;
- Com baixa energia incorporada;
- Recicláveis;
- Que possam permitir o reaproveitamento de resíduos de outras indústrias;
- Que provenham de fontes renováveis;
- Que estejam associados a baixas emissões de GEE;
- Duráveis;
- Cujas escolhas seja levada a cabo mediante uma análise do seu ciclo de vida.

A incorporação de materiais eco-eficientes em edifícios deve integrar as preocupações dos principais responsáveis e intervenientes por forma a potenciar o desenvolvimento de construções cada vez mais sustentáveis. Um material eco-eficiente é aquele que apresenta menor impacto ambiental quando comparado com as restantes possíveis soluções. Porém, a comparação entre as várias soluções construtivas ou entre diversos materiais de construção não é um processo simples, pois existem uma série de indicadores de desempenho ambiental que importa analisar a fim de se conseguir aferir com maior exatidão sobre a eco-eficiência de um determinado material.

Neste sentido surgem ferramentas como o ACV e os rótulos ecológicos, que têm como objetivo valorizar e potenciar a escolha de materiais de reduzido impacto ambiental e por isso eco-

eficientes. Neste contexto, seguidamente são apresentados e analisados alguns fatores a ter em conta aquando a seleção de materiais de construção.

2.2.3.1 Energia incorporada nos materiais

A energia incorporada nos materiais de construção corresponde à quantidade de energia consumida durante a sua vida útil (produção, transporte, aplicação na obra, manutenção e demolição). Tendo em conta que esta energia pode representar até cerca de 15% da quantidade total de energia consumida durante a vida útil de um edifício, dependendo entre outros fatores, do tipo de sistemas construtivos utilizados, do número de utilizadores do edifício, do grau de conforto dos ocupantes e do clima local, é importante a escolha de materiais com baixa energia incorporada no sentido de tentar minimizar a parcela de energia consumida a eles associada [15]. É de realçar que existem diferentes abordagens ao conceito de energia incorporada num material de construção que importa conhecer:

- a) do início da extração das matérias-primas até à porta da fábrica (*cradle to gate*):
Energia despendida na extração das matérias primas;
- b) do início até à obra (*cradle to site*):
Energia utilizada na extração da matérias-primas, na fase de produção, no transporte e na aplicação dos materiais em obra.
- c) do início até à fase de demolição e da deposição (*cradle to grave*):
Energia consumida desde a extração das matérias-primas até ao fim de vida do material ou produto.

Relativamente à quantidade de energia consumida na fase de produção dos materiais pode-se afirmar que, está intrinsecamente ligada a diversos fatores como, o tipo de processo produtivo utilizado e a eficiência do processo de transformação, podendo assim variar o seu valor de país para país. Neste âmbito, através do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia- RGCE, foram publicados em Portugal alguns valores correspondentes à energia necessária ao fabrico de diversos materiais de construção (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Energia despendida no fabrico de alguns materiais de construção

Material	MJ/ton
Clínquer para cimento normal	3852
Tijolos e abobadilhas de barro	1884
Telhas de barro	2512
Pavimentos de barro	2512
Chapa de vidro simples	8373

A parcela relativa à energia de transporte está intrinsecamente ligada ao modo de transporte utilizado pois como se pode ver pela Tabela 2.6, o avião representa gastos de energia exorbitantes quando comparado com os outros meios de transporte.

Tabela 2.6 – Energia despendida segundo o modo de transporte [2]

Transporte	MJ/ton Km
Avião	33-36
Rodovia (gasóleo)	0,8-2,2
Ferrovia (gasóleo)	0,6-0,9
Ferrovia (eletricidade)	0,2-0,4
Barco	0,3-0,9

Através da análise da Tabela 2.6, rapidamente se percebe a importância da utilização de materiais locais para a redução da energia incorporada em cada material.

Para além da preferência por materiais locais devem-se utilizar também materiais/sistemas de construção de baixa massa, para tentar reduzir a energia incorporada numa obra, uma vez que geralmente quanto menor for a massa do edifício, menor será a quantidade de energia incorporada. Na Tabela 2.7 apresenta-se uma lista de alguns materiais de construção e respetiva energia incorporada.

Tabela 2.7 – Energia incorporada em materiais de construção [2]

Material	MJ/kg	MJ/m³
Alumínio extrudido	201	542.700
Alumínio reciclado extrudido	17,3	46.710
Cimento	7,8	15.210
Argamassa de cimento	2,0	3.200
Betão pronto (fc=30 MPa)	1,3	3.180
Tijolo cerâmico	2,5	5.170
Vidro	15,9	40.060
Aço	32	251.200
Aço reciclado	10,1	37.210
Painel de gesso	6,1	5890
Madeira em bruto seca ao ar	0,3	165
PVC	70	93.620

Desta forma, o trabalho efetuado em prol de edificações com menor energia incorporada terá consequências positivas ao nível dos impactes ambientais, uma vez que quanto menores forem

os consumos de energia, menores serão os impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um edifício [15].

2.2.3.2 Emissões de gases para atmosfera

Ao processo de produção dos materiais de construção, desde a extração das matérias-primas até à sua deposição em obra, está associado um determinado consumo de energia e uma determinada quantidade de emissões de gases para a atmosfera.

Tendo em conta que o ciclo de vida dos materiais está muitas vezes relacionado com a queima de combustíveis fósseis e que, como já anteriormente foi referido, este processo é o principal responsável pela produção de dióxido de carbono e outros gases poluentes que provocam diversas alterações climáticas, é importante a seleção de materiais que minimizem a emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Um dos indicadores de impacte ambiental mais utilizados e de extrema importância na caracterização do desempenho ambiental de um determinado material é o Potencial de Aquecimento Global e mede-se em gramas equivalentes de CO₂ [9].

Na Tabela 2.8 apresenta-se a emissão de CO₂ correspondente a diversos materiais de construção usualmente utilizados.

Tabela 2.8 – Potencial de Aquecimento Global (PAG) associado a alguns materiais de construção [9]

Material	PAG (g/kg)
Aço (reciclado)	557
Alumínio (reciclado)	11102
Argamassa de cimento	98
Argila (telhas cerâmicas)	190
Argila (tijolo cerâmico)	190
Betão	65
Gesso	265
Lã mineral	1076
Madeira laminada	277
Poliestireno extrudido (XPS)	1650
Tela asfáltica	751
Vidro	569

A consciencialização dos problemas associados às emissões de gases poluentes deve constituir um fator de ponderação no momento da seleção dos materiais, com o intuito de preservar a qualidade do meio ambiente.

2.2.3.3 Toxicidade do material

Com o decorrer do tempo as técnicas/processos construtivos foram evoluindo, procurando atingir construções mais funcionais e duráveis. Os materiais de construção utilizados acompanharam essa evolução uma vez que as construções mais antigas eram realizadas com materiais naturais e atualmente muitos deles podem conter compostos químicos tóxicos, como tal antes da sua aplicação em obra deve-se ter em conta as suas especificações técnicas e o seu processo de fabrico.

Muitas vezes a qualidade do ar no interior dos edifícios é afetada pela libertação de poluentes por parte de determinados materiais. Estima-se que, nos países mais desenvolvidos, a maioria das pessoas, passem entre 80% a 90% do seu tempo no interior dos edifícios. Ora, a exposição direta e diária a poluentes emitidos por materiais tóxicos pode acarretar problemas de saúde aos ocupantes, designadamente dores de cabeça, irritações da pele, olhos e vias respiratórias, alteração do sistema nervoso (ansiedade, perturbações da memória, de atenção e concentração) e ainda desenvolvimento de cancro das fossas nasais, dos seios frontais e pulmões [2,11].

De entre os poluentes resultantes da fase de produção de alguns materiais importa realçar os organoclorados (dioxinas e furanos) que estão diretamente associados à produção de PVC e os compostos orgânicos voláteis (COV's) que são libertados por materiais que contêm solventes orgânicos como é o caso das tintas e vernizes. É também de referir que estes compostos contribuem para o agravamento do efeito de estufa [2].

Neste âmbito é também importante analisar a possível libertação de fumos e substâncias tóxicas provenientes de determinados materiais de construção numa situação de incêndio. Assim, e tendo em conta o perigo para a saúde dos habitantes, torna-se fundamental o estudo acerca do índice de toxicidade de alguns materiais após a sua combustão. Neste sentido, Liang e Ho realizaram um estudo acerca da toxicidade de alguns isolantes térmicos após combustão (Figura 2.38). O estudo realizado permitiu concluir que o Polietileno e o Poliuretano são materiais a evitar uma vez que não cumprem os requisitos relativos a materiais de baixa toxicidade em caso de incêndio, evidenciando um índice de toxicidade superior a 10 [58].

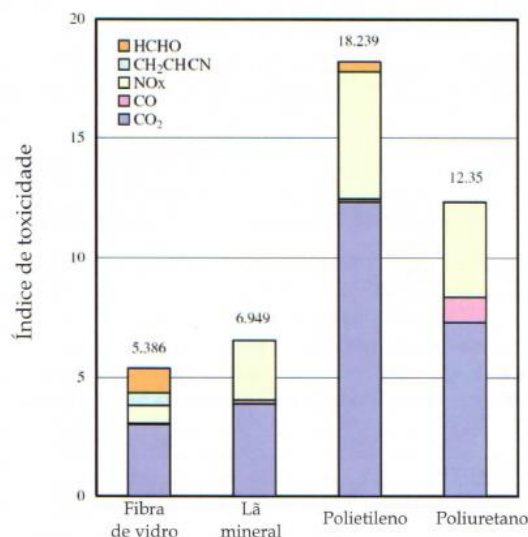


Figura 2.38 – Índice de toxicidade de alguns isolantes térmicos [58]

Como material bastante perigoso e potencial causador de graves problemas de saúde surge o amianto que usualmente é utilizado como isolante térmico e na produção de painéis de fibrocimento (Figura 2.39). Só mais recentemente, por volta da década de 80, a perigosidade deste material foi realmente tomada em consideração e efetivada com o surgimento da Diretiva 83/477/CEE que referenciava os riscos para a saúde dos trabalhadores expostos ao amianto. Apesar da proibição da produção de amianto na União Europeia, existe ainda uma significativa quantidade de coberturas de fibrocimento contendo amianto [2].

Também inserido nesta temática aparece o chumbo, material bastante utilizado no fabrico de canalizações para abastecimento de água. Este tipo de canalizações pode provocar problemas de saúde aos seus utilizadores por contaminação da água.



Figura 2.39 – Amianto (amostra de tremolite)

Em suma, pode afirmar-se que existem vários materiais tóxicos que são utilizados no setor da construção. Desta maneira, é importante que a seleção dos materiais a utilizar seja ponderada e criteriosa, privilegiando os materiais de baixa toxicidade a fim de evitar problemas de saúde para os utilizadores e contribuindo para a qualidade, conforto e salubridade do interior das habitações.

2.2.3.4 Durabilidade dos materiais

A durabilidade dos materiais de construção está intrinsecamente ligada com a necessidade de manutenção de um determinado material, assim a preferência por materiais duráveis, potencia a diminuição das operações de manutenção associadas ao material, contribuindo desta maneira para a redução dos custos de manutenção e para a redução dos impactes ambientais associados ao edifício.

Durante o processo de produção e manufatura dos materiais de construção os consumos energéticos são elevados, portanto a seleção de materiais duráveis deve constituir uma ação prioritária por parte dos intervenientes. Desta maneira contribui-se para o aumento do ciclo de vida dos edifícios e para uma conseqüente amortização dos impactes ambientais resultantes da produção de novos materiais [11].

2.2.3.5 Potencial de reutilização e reciclagem

A capacidade de um material, ao fim do seu ciclo de vida inicial, tornar a ser utilizado novamente representa o seu potencial de reutilização e reciclagem.

A seleção de materiais com elevado potencial de reutilização e reciclagem permite uma gestão mais eficaz dos recursos, contribuindo assim para a mitigação dos impactes das construções sobre o meio ambiente. A preferência por materiais com elevado potencial de reutilização e reciclagem contribui diretamente para a redução da extração de matérias-primas, para a minimização da energia incorporada no edifício e evitam ainda a deposição de produtos sobre o meio ambiente. Dentro do grupo dos materiais com elevado potencial de reutilização e reciclagem, visto que a reciclagem de um determinado produto/material também consome uma determinada quantidade de energia, deve-se optar sempre que possível pelos materiais que apresentem grandes potencialidades de reutilização, uma vez que à reutilização direta de materiais estão associados menores consumos de energia [9].

Devido ao desenvolvimento tecnológico que se verificou ao longo dos anos é possível reciclar a maior parte dos materiais, no entanto, estes possuem características muito singulares e distintas, exigindo processos de reciclagem diferentes. Nesta ótica, para determinado material importa analisar o tipo de processo de reciclagem a utilizar a fim de conseguir aferir sobre as possíveis vantagens económicas e ambientais a ele associados. Segundo Lucas, para alguns materiais os custos de transporte e o tipo de processo não justificam a sua reciclagem, sendo menos prejudicial para o ambiente a opção de utilizar materiais novos [14].

As capacidades que determinados materiais evidenciam para serem reciclados devem ser exploradas. Neste âmbito, pode-se afirmar que os elementos em aço e alumínio apresentam

elevados índices de capacidade de reciclagem, portanto a seleção adequada do processo de reciclagem a utilizar irá contribuir para a redução significativa dos consumos energético e dos gases poluentes associados à sua produção; relativamente aos plásticos, a sua reciclagem não é muito praticada essencialmente devido à grande diversidade de plásticos existentes e à dificuldade em os separar; no que diz respeito à reciclagem dos produtos de vidro, estes materiais exigem uma adequada separação e a não contaminação dos seus constituintes; a reutilização dos produtos em madeira depende em larga escala do seu estado de conservação, assim madeiras pouco deterioradas e em bom estado de utilização podem constituir uma solução viável de reutilização noutras construções.

Já o betão, apresenta-se como um produto com reduzida capacidade de reutilização e reciclagem. É um facto que elementos de betão, depois de sofrerem alguns processos de fragmentação, podem ser reaproveitados como agregados no fabrico de betão, porém a utilização de resíduos de betão provenientes de diversas fontes e a possibilidade dos agregados reciclados terem sido produzidos a partir de betões onde se geraram reações álcalis-sílica induz uma certa reticência quanto à qualidade do betão produzido com esses agregados [2].

O ciclo de vida do gesso é responsável por uma produção considerável de resíduos. Portanto, aproveitando o elevado potencial de reciclagem do gesso é importante que também em Portugal, à semelhança de outros países, se desenvolva o reaproveitamento de resíduos de gesso.

Segundo Bragança, os projetistas devem seguir um conjunto de critérios que irão permitir a maximização do potencial de reutilização e reciclagem dos materiais que integram um edifício, entre os quais: evitar ligações inseparáveis entre os vários elementos de construção; projetar os edifícios tendo em conta o seu possível desmantelamento e não apenas a sua demolição [15].

2.2.4 A sustentabilidade e a produção de resíduos

A produção de resíduos resultantes da indústria da construção, representa uma parcela significativa da quantidade total de resíduos produzidos. A nível mundial estes resíduos constituem cerca de 35% do total dos resíduos produzidos e a nível europeu cerca de 22% desse mesmo total, como se pode verificar na Figura 2.40 [2,59].

Aos resíduos provenientes de construções, demolições, reabilitações, estruturas, pavimentos e restos de limpeza de terrenos ou escavações de solo dá-se a designação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

A forma correta de atuação perante a produção de resíduos é, primeiramente evitá-los e depois reaproveitá-los, reciclando a maior quantidade possível. No entanto a taxa de reaproveitamento e valorização de RCD em Portugal encontra-se abaixo da média europeia que ronda os 25%.



Figura 2.40 – Resíduos produzidos por setor de atividade nos diversos países da União Europeia [60]

Relativamente ao enquadramento legislativo relativo aos RCD, o Decreto-Lei N°178/2006 de 5 de Setembro, aparece como o primeiro instrumento regulador da gestão de resíduos em Portugal, explorando os conceitos de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação. Atualmente, é o Decreto-Lei N°46/ 2008, de 12 de Março que estabelece a obrigatoriedade da gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições de edifícios ou derrocadas [59,61,62].

Segundo Monteiro, os resíduos de construção podem ser classificados de diferentes formas [63]:

- Segundo a Lista Europeia de Resíduos - os RCD são classificados pelo código 170000, em que os últimos 4 dígitos variam de acordo com o tipo de RCD em questão.
- Segundo o tipo de obra:
 - Resíduos de Construção – material com origem em novas obras de construção de edifícios e infraestruturas.
 - Resíduos de Demolição – material com origem em obras de demolição de edifícios ou infraestruturas.
 - Resíduos de Remodelação – material com origem em obras de remodelação ou reparação de edifícios e infraestruturas.
- Segundo o tipo de material que se encontra presente:
 - Resíduos inertes – solo, telhas, terra, tijolos, etc.
 - Resíduos não inertes – embalagens, plásticos, madeira, metal, vidros, etc.
 - Resíduos perigosos – amianto, tintas, óleos, etc.
- De acordo com o destino final dos resíduos:
 - Resíduos reutilizáveis – material que pode ser reutilizado diretamente no local da obra ou noutras.
 - Resíduos recicláveis – material que pode ser reciclado.
 - Resíduos não recicláveis – material que, devido às suas características ou por se encontrar contaminado, não pode ser reciclado.

Como já anteriormente foi referido, a primeira preocupação a ter relativamente aos resíduos, é evitá-los. O tipo de materiais e técnicas de construção utilizados são fatores determinantes na quantidade de resíduos produzidos, bem como na sua possibilidade de reutilização e reciclagem, portanto é necessário que logo desde a fase de conceção os principais responsáveis, tomem medidas no sentido de potenciar a reutilização e a reciclagem dos resíduos, tais como [15]:

- Evitar materiais compósitos que não podem ser separados;
- Evitar ligações inseparáveis entre os elementos, ou seja devem preferir-se ligações mecânicas em detrimento das químicas com o propósito de facilitar a sua reutilização no final do ciclo de vida.
- Projetar os edifícios prevendo a sua futura desconstrução e não apenas a sua demolição.

Neste contexto, torna-se importante introduzir nesta dissertação temas como a desconstrução e a reutilização e reciclagem dos resíduos provenientes da Construção e Demolição de edifícios.

2.2.4.1 Desconstrução

Usualmente a demolição de edifícios é assente em princípios que têm por base processos rápidos e financeiramente mais rentáveis, mas que têm como consequência a junção de todo o tipo de RCD em aterro. A crescente preocupação com as questões sustentáveis na construção levou à necessidade de procura de novas soluções que permitissem a maximização da reutilização e reciclagem de RCD, como tal surgiu uma técnica designada demolição seletiva.

Esta técnica caracteriza-se pelo desmantelamento cuidadoso do edifício, com o objetivo de recuperar materiais e outros componentes da construção, promovendo a sua reutilização e reciclagem. Deste modo, materiais resultantes da demolição de edifícios que provavelmente iriam parar a aterros são valorizados, integrando novamente outras construções. A Figura 2.41 evidencia processos de demolição seletiva utilizados no desmantelamento de edifícios [64].



Figura 2.41 – Processos de demolição seletiva

Contudo, é de notar que este processo é obviamente mais demorado e dispendioso que a demolição tradicional. Tendo em conta este facto, é necessário encontrar mecanismos que permitam viabilizar economicamente este processo. Em termos legislativos, a inexistência de níveis mínimos de reciclagem contribui para uma despreocupação nos processos de demolição, inibindo assim ações que permitam aumentar os níveis de reciclagem de RCD.

Charles Kibert enunciou alguns princípios a respeitar logo desde a fase de execução do projeto de modo a potenciar este processo de demolição seletiva [65]:

- Usar materiais reciclados e recicláveis;
- Minimizar o número de tipo de materiais;
- Evitar materiais tóxicos e perigosos;
- Evitar materiais compósitos e produtos que não podem ser separados;
- Fornecer uma identificação permanente dos diversos materiais;
- Minimizar o número de diferentes componentes;
- Privilegiar ligações mecânicas sobre ligações químicas;
- Usar tecnologias de desconstrução compatíveis com as práticas construtivas;
- Separar a estrutura dos revestimentos;
- Minimizar os tipos de conetores;
- Usar materiais leves;
- Guardar a informação do edifício e do processo de construção.

A desconstrução surge como técnica potenciadora da valorização e reutilização dos materiais de construção. A exploração mais profunda desta temática advém das crescentes preocupações acerca da produção dos RCD e seus impactes ambientais.

A aplicação de princípios relacionados com a construção sustentável quer na fase de conceção, quer na fase de execução, assume um papel preponderante no desenvolvimento de novas técnicas construtivas que viabilizem a prática da desconstrução e a construção de edifícios duráveis e adaptáveis, incorporados por materiais com menor impacte ambiental e com grande potencial de reutilização e reciclagem [66].

2.2.4.2 Reutilização

O processo de reutilização consiste no aproveitamento de materiais sem que estes sejam sujeitos a qualquer tipo de processo industrial complexo. Este tipo de processo contribui para a redução da exploração de recursos que seriam indispensáveis à produção de novos materiais. A reutilização constitui uma alternativa ambientalmente mais favorável que a reciclagem, uma vez que não inclui todo o consumo energético associado ao processo de reciclagem [67].

De modo a potenciar os processos de reutilização é fundamental a programação de metodologias de desmantelamento, com o intuito de preservar ao máximo a qualidade dos materiais. Desta maneira torna-se possível a integração de materiais resultantes do desmantelamento numa nova construção, o que realça a importância deste processo na gestão dos resíduos de construção e demolição.

O fator económico é um dos principais entraves à reutilização de materiais, uma vez que o processo de desconstrução implica uma desmontagem muito cuidadosa, com mão-de-obra especializada e armazenagem correta [67].

Posto isto, é de salientar que a reutilização de materiais de construção é ainda uma área de intervenção em desenvolvimento cujo sucesso da sua implementação depende em larga escala do tipo de projeto elaborado (tipo de materiais e soluções construtivas).

2.2.4.3 Reciclagem

Basicamente, a reciclagem é um processo que consiste na recolha e no tratamento adequado de um resíduo de modo a que este possa ser utilizado novamente, desempenhando a mesma função ou uma função diferente da original.

A introdução dos processos de reciclagem na construção contribui para a redução do consumo de recursos naturais, do consumo energético durante o processo de produção e ainda para a minimização dos resíduos depositados em aterro [68].

Para além das vantagens referenciadas a nível ambiental, a introdução dos processos de reciclagem na construção influencia positivamente o setor socioeconómico, uma vez que, segundo a Agência de Proteção do Ambiente dos Estados Unidos (EPA), a incineração de 10000 toneladas de resíduos representa a criação de um posto de trabalho enquanto que a reciclagem da mesma quantidade de resíduos pode significar 36 postos de trabalho. Tendo em conta que em Portugal são produzidos 7,5 milhões de resíduos anualmente, a reciclagem de grande parte destes resíduos permitiria a criação de milhares de postos de trabalho [67].

A reciclagem dos materiais deve integrar a principal linha de pensamento dos principais intervenientes do setor da construção a fim de criar estratégias que potenciem o uso de materiais reciclados. Neste contexto deve-se privilegiar materiais não tóxicos, com intuito de salvaguardar a saúde humana e de promover o reaproveitamento de materiais; deve-se evitar revestimentos e acabamentos secundários tanto quanto possível uma vez que estes podem contaminar o material de base e dificultar a reciclagem; a montagem de materiais com diferente potencial de reciclagem deve ser realizada em separado, desta maneira consegue-se precaver que grandes quantidades de um material sejam contaminadas por pequenas quantidades de um material que

não se consegue ser separado; usar ligações mecânicas em vez de químicas facilita a separação entre os materiais e os componentes [64].

Os processos industriais utilizados na transformação de materiais recicláveis em materiais reciclados devem ter como objetivo a obtenção de produtos finais de qualidade e a redução dos desperdícios inerentes ao processo de transformação. Para além destes fatores, e tendo em conta a importância do transporte nos custos finais da reciclagem, a localização da central de reciclagem constitui também um fator relevante a ter em consideração na análise do processo de reaproveitamento de materiais [67].

A título de exemplo apresenta-se um método utilizado na reciclagem do betão – HRM (*heating and rubbing method*). Neste método os escombros do betão são aquecidos até uma temperatura de cerca de 300°C e friccionados dando origem a um agregado reciclado que será utilizado para produzir o novo betão e a um pó HRM que misturado com matéria-prima poderá ser utilizado no fabrico de cimento. Após o fabrico do cimento, este pode ser utilizado na produção de um novo betão, que poderá integrar uma nova construção. A Figura 2.42 ilustra esquematicamente o sistema de reciclagem do betão [68].

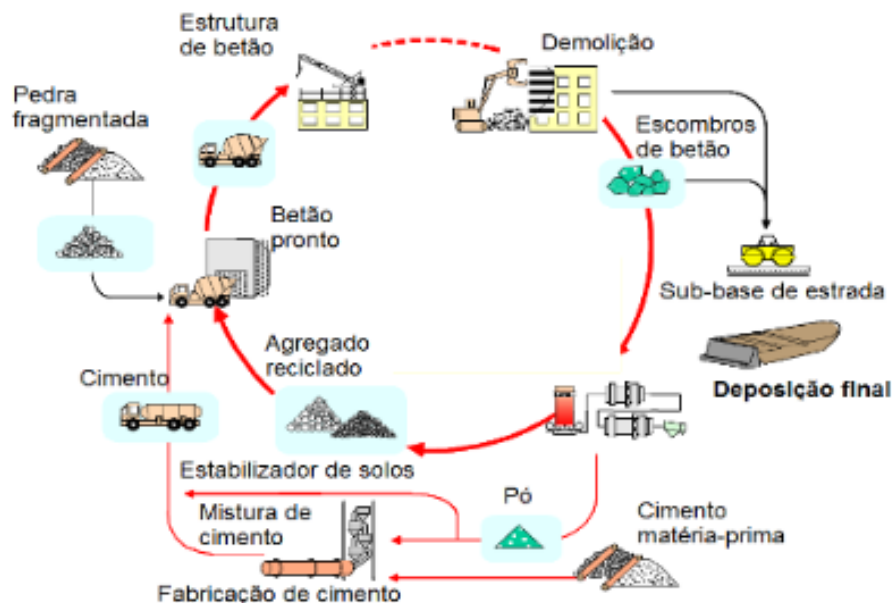


Figura 2.42 – Sistema de reciclagem do betão [68]

Capítulo 3

Sistemas de avaliação de sustentabilidade

Capítulo 3 Sistemas de avaliação de sustentabilidade

3.1 Enquadramento

Na indústria da construção, a variedade e quantidade dos materiais que podem ser utilizados é imensa. A maior parte destes materiais possui características/propriedades muito distintas e portanto é difícil à partida aferir sobre a sua sustentabilidade.

O conceito “material sustentável” engloba vários parâmetros, portanto é importante e necessário ponderar diversos fatores aquando a seleção dos materiais. Por exemplo, comparando o betão com o aço, torna-se difícil à primeira vista aferir qual dos dois materiais representa a solução mais sustentável. O betão utiliza materiais locais, minimizando assim a energia de transporte e pode contribuir para o escoamento de resíduos industriais, porém as quantidades de dióxido de carbono associadas à sua fase de produção são elevadas. Por outro lado o aço tem como grande vantagem, a capacidade de ser reciclado indefinidamente e como ponto fraco, o elevado consumo energético associado à sua fase de produção e ainda a sua facilidade de degradação por corrosão [2].

Como se pode constatar a avaliação da sustentabilidade de um material não é um processo fácil nem imediato, como tal é importante a utilização de ferramentas apropriadas que nos permitam selecionar materiais economicamente viáveis e que ao mesmo tempo apresentem reduzidos impactes ambientais. A avaliação da sustentabilidade tem como base uma grande diversidade de parâmetros e indicadores que se enquadram nas três dimensões do desenvolvimento sustentável. A análise de todos esses parâmetros conduziria a um processo de avaliação demasiado complexo, moroso e dispendioso, como tal as ferramentas e sistemas de avaliação não abordam todos esses parâmetros, selecionando apenas os que consideram mais representativos nos objetivos de avaliação.

Apesar do desenvolvimento de diversas ferramentas e sistemas para a avaliação da sustentabilidade de edifícios, até agora nenhuma é amplamente aceite à escala global. Este facto deve-se essencialmente a um conjunto de fatores tais como [11]: a imensa quantidade de materiais que um edifício incorpora; a complexidade dos edifícios; durabilidade variável dos edifícios.

Tendo em conta os demais fatores referidos e a importância que o setor dos edifícios tem na construção, a procura e a investigação de metodologias de avaliação da sustentabilidade de edifícios cada vez mais eficientes e credíveis tem sido cada vez mais uma realidade.

Desta maneira, e com o surgimento das primeiras metodologias, a Agência Internacional da Energia organizou as diferentes metodologias e ferramentas tendo em conta o seu objetivo, escala de análise e fase do ciclo de vida em que se aplicam, da seguinte forma [11]:

- Programas informáticos de simulação energética;
- Ferramentas de avaliação do desempenho ambiental do ciclo de vida (ACV) dos edifícios;
- Metodologias de avaliação da sustentabilidade e sistemas de certificação;
- Diretivas e *checklists* para o projeto e gestão sustentáveis de edifícios;
- Declarações ambientais de produto (DAP's), bases de dados, catálogos, esquemas de certificação e rótulos/etiquetas.

Nos capítulos seguintes desta dissertação, serão abordados e explorados mais especificamente diversas metodologias e ferramentas utilizadas para avaliar a sustentabilidade de edifícios.

3.2 Sistemas de avaliação




Em 1998 surge nos Estados Unidos a primeira metodologia de avaliação do desempenho ambiental de edifícios. Até então, a ideia de “edifícios verdes” era essencialmente assente na sua eficiência em termos de recursos e no seu baixo impacte ambiental, não existindo nenhum critério específico para a avaliação das vantagens associadas a este tipo de projeto. Neste ano, o *United States Green Building Council* apresentou o sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e a primeira metodologia de avaliação destinada à construção nova (LEED-NC). Esta metodologia especifica os critérios para a conceção de um edifício “verde” e permite a sua classificação para posterior comparação e comunicação dos resultados [69]. Depois desta, desenvolveram-se algumas metodologias/ferramentas de avaliação da sustentabilidade de edifícios, entre as quais: o GBTool / SBTool, BREAM e Lider A.

3.2.1 LEED

O sistema de certificação LEED foi desenvolvido pelo *United States Green Building Council* (USGBC). Este sistema apresenta-se como uma solução versátil uma vez que permite a sua aplicação em diferentes tipos de edifícios (comercial e residencial) assim como nas várias fases do ciclo de vida (projeto, construção, utilização e manutenção) [3].

O nível de certificação de um edifício é obtido através da satisfação de alguns critérios (atribuição de pontos) enquadrados em determinadas áreas-chave (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Áreas chave e critérios da certificação LEED [70]

Áreas chave		Critérios	Pontos
	Sustentabilidade do local	Seleção do local, desenvolvimento urbano, recuperação de locais abandonados, transporte alternativo, redução da perturbação do local, gestão das águas da chuva, design exterior e da paisagem para reduzir ilhas de calor, redução da poluição visual.	14
	Gestão da água	Eficiente exploração de água, tecnologias inovadoras de tratamento de águas, tecnologias de redução do consumo de água.	5
	Energia e atmosfera	Otimização do desempenho energético, energias renováveis, depleção da camada de ozono.	17
	Materiais e recursos	Reutilização de edifícios, gestão dos resíduos de construção e demolição, reutilização de recursos, conteúdo reciclado, materiais de origem local/regional, materiais rapidamente renováveis, madeiras certificadas.	13
	Qualidade do ar interior	Dióxido de carbono (CO ₂), aumento da eficiência da ventilação, plano de gestão da qualidade do ar interior, materiais de baixa emissão, controlo das fontes de químicos e poluentes no interior, controlabilidade dos sistemas, conforto térmico, iluminação natural.	15
	Inovação no projeto	Informação sobre medidas inovadoras incorporadas no projeto e quais os seus benefícios na área da sustentabilidade.	5

Dependendo da pontuação total obtida na avaliação, o sistema LEED apresenta quatro níveis de certificação: Certificação básica (26 a 32 pontos), Prata (33 a 38 pontos), Ouro (39 a 51 pontos) e Platina (52 a 69 pontos), como ilustra a Figura 3.1.



Figura 3.1 – Níveis de certificação do sistema LEED [70]

3.2.2 GBTool / SBTool

No final da última década do século XX, a *Natural Resources Canada* inicia o desenvolvimento de um sistema de avaliação designado por SBTool (*Sustainable Building Tool*). A partir de 2002, a *International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE)*, uma organização sem fins lucrativos que tem como objetivo promover a adoção de métodos e ferramentas que visem a construção de edifícios mais sustentáveis, deu seguimento ao processo de desenvolvimento deste sistema de avaliação [3].

O SBTool tornou-se alvo de análise de vários países na tentativa de adequar esta ferramenta ao seu contexto regional e local, perspetivando a sua possível aplicação nos diversos países. Neste contexto, também Portugal adaptou esta ferramenta de avaliação ao contexto nacional através da cooperação entre a Associação iiSBE Portugal, o Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho (LFTC-UM) e a empresa EcoChoice sob supervisão da iiSBE Internacional [15].

Este sistema de avaliação (SBTool^{Pl}) tem em consideração as três dimensões da sustentabilidade e aborda 9 categorias que permitem caracterizar o projeto em relação a determinados aspetos-chave da sustentabilidade (Figura 3.2).



Figura 3.2 – Dimensões e categorias consideradas no SBTool [69]

A classificação neste método é muito semelhante à utilizada na certificação energética de edifícios, uma vez que as classes variam entre o E e o A⁺ (Figura 3.3).



Figura 3.3 – Classificação do SBTool^{PT} [69]

A avaliação é concluída com a emissão de um certificado onde está presente a identificação do edifício em questão, a etiqueta de sustentabilidade e a desagregação do desempenho por cada categoria (Figura 3.4).

The certificate is titled 'Certificado de Sustentabilidade' and is issued for '11.º Certificado 123-2004'. It identifies the building as a 'Edif. Habitação Unifamiliar' (Single-family housing) located in 'Cidade Real'. The global sustainability score is 'Nota Global (NG) = 30', which corresponds to a 'B' rating. The certificate is broken down into nine categories (C1-C9) with the following scores: C1 (A+), C2 (A), C3 (B), C4 (B), C5 (B), C6 (B), C7 (B), C8 (B), and C9 (B). The certificate is issued by the 'Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho' and is part of the 'ECOCHOICE' program.

Figura 3.4 – Certificado de sustentabilidade do SBTool [69]

3.2.3 BREEAM

O sistema de avaliação BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) foi desenvolvido no Reino Unido pelo Building Research Environmental (BRE). Este sistema de avaliação de desempenho tem como principais objetivos [71]:

- Fazer a distinção dos edifícios com menor impacto ambiental no mercado;
- Potenciar a implementação de práticas soluções inovadoras que minimizem os impactes ambientais associados aos edifícios;
- Consciencializar os principais intervenientes sobre os benefícios de edifícios mais sustentáveis.

A avaliação do desempenho ambiental é realizada com base em nove categorias: gestão (do edifício e da organização dos ocupantes), saúde e conforto dos utilizadores, energia, transporte, materiais, consumo de água, utilização do terreno, ecologia local e poluição. Estas categorias são sujeitas à aplicação de um sistema de ponderação ambiental com o intuito de determinar um índice de desempenho ambiental (EPI) e a consequente classificação ambiental. Este sistema de ponderação resulta de um processo de consulta a diversos profissionais da área da avaliação e certificação da sustentabilidade de edifícios.

A classificação ambiental resulta da avaliação do desempenho ambiental relativo às categorias consideradas e está escalonada da seguinte forma: Sem classificação (<30%), Aprovado (entre 30 e 44%) , Bom (entre 45 e 54%), Muito Bom (entre 55 e 69%), Excelente (entre 70 e 84%) e Extraordinário ($\geq 85\%$).

A Figura 3.5 evidencia o processo de obtenção da classificação ambiental dos edifícios segundo o método BREEAM.

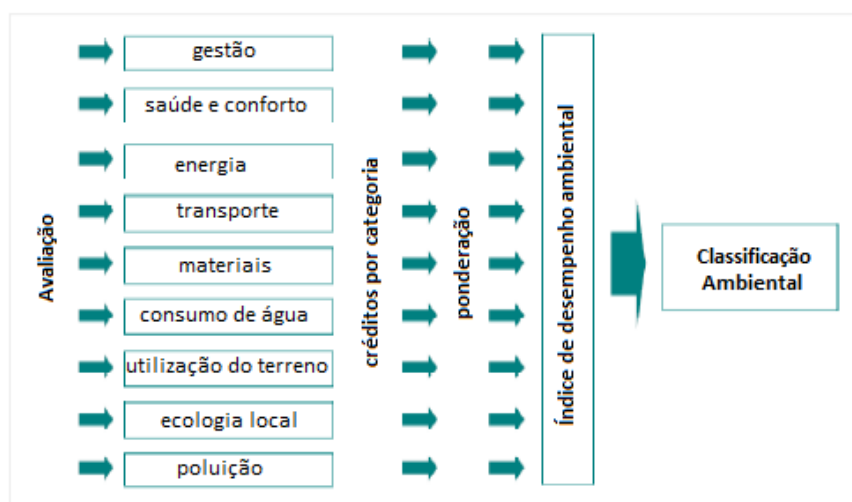


Figura 3.5 – Esquematização do processo para a classificação ambiental dos edifícios [71]

3.2.4 LíderA

LíderA (Liderar pelo Ambiente para a construção sustentável) é um sistema de avaliação e reconhecimento voluntário da construção sustentável, desenvolvido por Manuel Duarte Pinheiro, Doutorado em Engenharia do Ambiente.

A primeira versão deste sistema surgiu em 2005 (Versão 1.2). O desenvolvimento e o melhoramento desta versão permitiram o aparecimento no mercado, em 2009, de uma nova versão (Versão 2.0), que tinha por base os seguintes princípios [72]:

- Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Promover a eficiência no consumo de recursos;
- Reduzir o impacto das cargas (quer em valor quer em toxicidade);
- Assegurar a qualidade do ambiente interior, focada no conforto ambiental;
- Fomentar as vivências sócio-económicas sustentáveis;
- Assegurar a gestão ambiental e a inovação.

O modelo LíderA está organizado segundo seis vertentes que se subdividem em 22 áreas de intervenção, como ilustra a Figura 3.6.



Figura 3.6 – Principais vertentes e áreas de intervenção abordadas pelo LíderA [72]

A classificação do desempenho tendo em conta o sistema LíderA é em tudo semelhante à utilizada nos sistemas de certificação energética, assim a classificação G é a menos eficiente e a classificação A, a mais eficiente (Figura 3.7) [17].



Figura 3.7 – Níveis de desempenho do sistema LiderA [72]

Depois da ponderação das áreas de intervenção e dos respectivos critérios, o desempenho do edifício é classificado da seguinte forma:

- Classes G e F, indicam valores de desempenho inferiores ao da prática usual;
- Classe E, indica um valor de desempenho igual à da prática usual ou de referência;
- Classe D, indica uma melhoria de 12,5% face à prática usual;
- Classe C, indica uma melhoria de 25% face à prática usual;
- Classe B, indica uma melhoria de 37,5% face à prática usual;
- Classe A, indica uma melhoria de 50% face à prática usual;
- Classe A+, indica uma melhoria de 75% face à prática usual;
- Classe A++, indica uma melhoria de 90% face à prática usual.

Para além dos referidos níveis de desempenho, existe ainda a classe A+++ que indica um desempenho neutral ou até mesmo regenerativo. No entanto importa salientar que a obtenção dos níveis de sustentabilidade definidos pela classe A+++ é um processo complexo e na maior parte das vezes economicamente inviável [72].

No sistema LiderA, a certificação de sustentabilidade só é conseguida para construções que atinjam a classe C ou superior (B, A, A+ ou A++).

3.2.5 SimaPro 7

O SimaPro 7 é uma ferramenta de avaliação ambiental baseada num sistema de avaliação de ciclo de vida (ACV). Essencialmente o SimaPro7 é utilizado para analisar o desempenho ambiental de produtos, não sendo portanto um sistema de avaliação de edifícios como os que foram anteriormente abordados nesta secção.

Esta ferramenta foi desenvolvida por uma empresa holandesa denominada por *Pré Consultants* e lançada no mercado em 1990, tendo como principal objetivo a comparação e análise de ciclos de vida complexos. A fiabilidade e flexibilidade desta ferramenta representam a sua qualidade e

fazem do SimaPro 7, um dos softwares mais utilizado em todo o Mundo para avaliação do ciclo de vida [73]. Esta ferramenta permite o acesso a uma grande variedade de base de dados contém informações quantitativas sobre diversos parâmetros determinantes para um estudo de avaliação do ciclo de vida (consumo de energia, consumo de recursos, emissões, etc).

A avaliação do desempenho ambiental de materiais segundo o SimPro 7, analisa diversos critérios, como demonstra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Critérios de avaliação da ferramenta SimaPro 7 [74]

Categorias	Critérios
Recursos	Esgotamento dos combustíveis fósseis
	Depleção dos recursos minerais
Qualidade do ecossistema	Utilização do terreno
	Acidificação/Eutrofização
	Ecotoxicidade
Saúde humana	Alterações climáticas
	Destrução da camada de ozono
	Substâncias perigosas
	Problemas no sistema respiratório
	Radiação ionizante

3.3 Avaliação do ciclo de vida (ACV)

O termo ACV ou em inglês LCA, *Life Cycle Assessment*, foi primeiramente utilizado nos Estados Unidos da América (EUA) em 1990. O crescente interesse pelas capacidades e características deste tipo de análise contribuiu para a reunião entre investigadores europeus e norte americanos que tinha como objetivo desenvolver e melhorar a metodologia de ACV [75].

A avaliação do ciclo de vida “inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição, a utilização, a manutenção, a reciclagem, a reutilização e a deposição final” [76].

No início da década de 90 foi criado um comité técnico com o objetivo de regulamentar a aplicação de análises do ciclo de vida a um determinado produto ou processo, surgindo então uma série de normas relacionadas com ACV [75]:

ISO 14040: 1997 *Environmental management -- Life cycle assessment – Principles and framework*

ISO 14041:	1998	<i>Environmental management -- Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis</i>
ISO 14042:	2000	<i>Environmental management -- Life cycle assessment – Life cycle impact assessment</i>
ISO 14043:	2000	<i>Environmental management – Life cycle assessment -- Life cycle Interpretation</i>
ISO/TR 14049:	2000	<i>Environmental management -- Life cycle assessment -- Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis</i>
ISO/TS 14048:	2002	<i>Environmental management -- Life cycle assessment -- Data documentation format</i>
ISO/TR 14047:	2003	<i>Environmental management -- Life cycle impact assessment -- Examples of application of ISO 14042</i>

Posteriormente, em 2006, com o intuito de facilitar a sua aplicação, as especificações contidas nas normas 14041, 14042, 14043 foram aglomeradas apenas em dois documentos: ISO 14040 e ISO 14044 [77], [78].

ISO 14040:	2006	<i>Environmental management -- Life cycle assessment – Principles and framework</i>
ISO 14044:	2006	<i>Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines</i>

Apesar de desvantagens como o elevado dispêndio de tempo e a implicação de uma grande quantidade de dados acerca dos impactes ambientais dos materiais, a ACV é vista atualmente como parcela fundamental para atingir construções sustentáveis. Como prova inequívoca desta realidade, pode-se realçar o facto de inúmeros países da União Europeia terem iniciado o desenvolvimento de aspetos relacionados com a metodologia ACV, criando ferramentas que permitem compreender melhor os impactes ambientais resultantes do ciclo de vida dos produtos.

De entre as várias categorias de impactes ambientais normalmente utilizadas para as ACV, destacam-se as seguintes [2]:

- Consumo de recursos não renováveis;

- Consumo de água;
- Potencial de aquecimento global;
- Potencial de redução da camada de ozono;
- Potencial de eutrofização;
- Potencial de acidificação;
- Potencial de formação de smog;
- Toxicidade humana;
- Toxicidade ecológica;
- Produção de resíduos;
- Uso de terra;
- Poluição do ar;
- Alteração dos habitats.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) tem como objetivo avaliar o conteúdo em recursos e os impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um determinado produto. Através da aplicação deste método pode-se, perceber a influência das diferentes fases do ciclo de vida no impacto ambiental global e ainda proceder a uma comparação entre produtos, nomeadamente acerca do seu desempenho ambiental [11].

Na Figura 3.8 pode-se verificar que a avaliação do ciclo de vida baseia-se fundamentalmente na avaliação quantitativa das diversas atividades que decorrem na vida de um produto, como a sua fabricação, utilização, manutenção e deposição final, incluindo a extração de matérias-primas necessárias à sua produção [11,75].

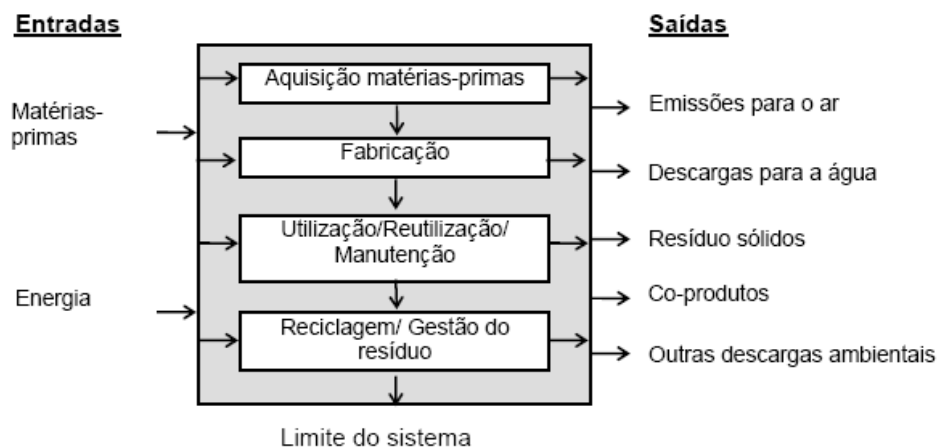


Figura 3.8 – Fases do ciclo de vida de um produto [75]

Segundo as normas ISO 14040 e ISO 14044, são quatro as fases que constituem a avaliação do ciclo de vida (ACV) [11,75,79]: Definição do objetivo e do âmbito; inventário do ciclo de vida; avaliação dos impactos de ciclo de vida; interpretação dos resultados (Figura 3.9).

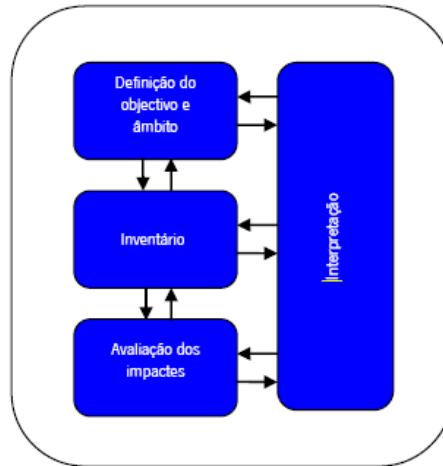


Figura 3.9 – Fase de implementação do ACV [11]

I. Definição do objetivo e do âmbito

Define e descreve o produto - esta primeira fase engloba a formulação e a especificação dos objetivos, das fronteiras do sistema, das diversas etapas que compõem o ciclo de vida do edifício, da unidade funcional que será avaliada, da metodologia para a alocação dos impactos e consumo de matérias-primas nos diversos processos.

II. Inventário de ciclo de vida

O inventário de ciclo de vida envolve a recolha, descrição e verificação de dados. É também nesta fase que são identificados os fluxos de entrada ou *inputs* do sistema (matéria e energia) e os fluxos de saída ou *outputs* do sistema (emissões atmosféricas, emissões para a água e resíduos sólidos).

A recolha de dados associados ao sistema produtivo pode tornar esta fase morosa, porém a maior parte desses dados encontra-se disponível em base de dados, não sendo então necessário utilizar processos fastidiosos como os questionários direcionados às empresas. Ainda assim, é importante selecionar a informação de uma forma criteriosa, pois a utilização de dados inadequados ao produto poderá influenciar os resultados.

III. Avaliação dos impactos do ciclo de vida

Nesta fase pretende-se avaliar a intensidade e a relevância dos potenciais impactos ambientais resultantes dos dados recolhidos na análise do inventário.

IV. Interpretação dos resultados

A preponderância desta fase é inequívoca, uma vez que são avaliados os processos e os materiais que mais contribuem para os impactos de um produto. Todas as conclusões inerentes à aplicação da metodologia de avaliação do ciclo de vida devem ser expostas nesta fase.

Em síntese, a metodologia de ACV constitui uma ferramenta de grande utilidade uma vez que permite perceber o desempenho ambiental dos produtos relativamente às diversas categorias de impacto ambiental existentes e assim influenciar positivamente a escolha de produtos responsáveis por impactes ambientais reduzidos.

3.4 Rotulagem ecológica – Declaração Ambiental de Produto (DAP)

3.4.1 Enquadramento e objetivos

A crescente preocupação acerca dos potenciais impactes ambientais que determinados materiais e/ou produtos poderiam causar levou ao aparecimento dos rótulos ecológicos. Estes têm o objetivo promover os materiais com menor impacto ambiental, pois segundo a *International Standards Organization* (ISO), o objetivo de um rótulo é “encorajar a procura e a oferta de produtos que causam menores pressões no ambiente ao longo do seu ciclo de vida, através da comunicação de informação verificável e fiável, não enganosa, acerca dos aspetos ambientais de produtos e serviços” [80].

Em 1978, a Alemanha surge como pioneira de um sistema de rotulagem, intitulado de Anjo Azul “*Blaue Engel*”. O crescente interesse pelas questões ambientais fez com que outros países desenvolvessem os seus próprios programas de rotulagem. Segundo a *International Standards Organization* (ISO), importa destacar três tipos de rótulos ambientais voluntários:

I. Rótulos ecológicos certificados

Programas voluntários e independentes que atribuem rótulos a determinados produtos tendo em consideração o seu desempenho ambiental, permitindo assim a diferenciação entre produtos pertencentes à mesma categoria. Uma terceira parte independente é responsável pela certificação da credibilidade dos diversos critérios considerados na atribuição de rótulos [80].

Em 1992, surge o rótulo ecológico Europeu, marcando os produtos com baixo impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida. Relativamente aos materiais de construção, as tintas, vernizes e os revestimentos rígidos para pavimentos (mosaicos, pedras naturais, de betão, cerâmicos e de barro) já se encontram regulamentadas ao abrigo deste rótulo (Figura 3.10) [2].



Figura 3.10 – Símbolo de rótulo ecológico Europeu

A utilização deste rótulo nos produtos, faz com que estes sejam reconhecidos como produtos com melhor desempenho ambiental que outros da sua categoria, têm a vantagem das suas características ambientais já terem sido analisadas, bem como a sua qualidade técnica e durabilidade. Por outro lado existem também algumas desvantagens como os custos decorrentes do teste dos produtos e o facto de os critérios não terem em conta a parcela relativa ao transporte do produto que representa uma quantidade considerável do consumo de energia e de emissões.

II. Auto-declarações ambientais

São declarações elaboradas pelos fabricantes, importadores ou distribuidores de modo a comunicar informação sobre os aspetos ambientais dos seus produtos ou serviços.

A norma ISO 14021 especifica os requisitos para auto-declarações ambientais, incluindo textos, símbolos e gráficos, no que se refere aos produtos; descreve ainda os termos que normalmente são utilizados em declarações ambientais (recuperação de energia, consumo reduzido de matérias-primas e energia, redução de resíduos) e fornece qualificações para seu uso. Também descreve uma metodologia de avaliação e verificação geral para auto-declarações ambientais [79,81,82].

Quando uma empresa pretende fornecer informações sobre um determinado produto sem ter uma certificação ou um rótulo ambiental pode fazê-lo usando este tipo de declarações ambientais.

Apesar das auto-declarações reforçarem a imagem de marca do produto e permitirem a comparação de produtos, a sua exatidão e credibilidade é questionável, uma vez que não são certificadas por uma terceira parte independente. No entanto, este tipo de declarações constitui uma solução economicamente mais vantajosa comparativamente aos rótulos tipo I e tipo III, uma vez que não estão envolvidos custos de certificação ou validação [83].

III. Declarações ambientais de produto (DAP)

Esta forma de certificação ambiental de materiais e produtos é baseada na norma ISO 14025 e consiste na exposição de um conjunto de dados ambientais quantificáveis ao longo do ciclo de vida do produto, tais como [2,84]:

- Consumo de energia não renovável;
- Consumo de energia renovável;
- Potencial aquecimento global;
- Potencial de degradação da camada de ozono;
- Potencial de acidificação;
- Potencial de eutrofização.

A utilização do método de avaliação do ciclo de vida (ACV) como base das DAP torna as descrições quantitativas acerca do desempenho ambiental de um determinado material ou produto mais fiáveis. Apesar das DAP serem verificadas por uma terceira pessoa independente, isto não implica obrigatoriamente o seu processo de certificação.

Comparativamente aos rótulos ecológicos, as DAP não garantem à partida um nível exato de desempenho ambiental do produto, apenas fornecem um conjunto de informações que permitem a uma pessoa especializada na matéria tirar conclusões sobre esse mesmo desempenho [2,85].

Em síntese, os principais objetivos das declarações ambientais de produto são:

- Fornecer dados quantificáveis acerca do desempenho ambiental de produtos ao longo do seu ciclo de vida;
- Auxiliar utilizadores na realização de comparações de resultados relativos ao desempenho ambiental entre produtos com funções semelhantes;
- Encorajar a procura e a oferta de produtos que causem menor impacte ambiental;

No desenvolvimento do presente capítulo, a atenção recai em particular sobre este último tipo de rotulagem ambiental, as declarações ambientais de produto. A regulamentação associada a este tipo de rotulagem, as regras para categoria de produtos e o conteúdo das DAP são os principais assuntos a abordar no seguimento deste capítulo.

3.4.2 Enquadramento normativo das DAP

A necessidade de assegurar determinados padrões de qualidade dos produtos conduziu ao aparecimento de várias normas internacionais.

A International Organization for Standardization (ISO) e o European Committee for Standardization (CEN) acompanharam o desenvolvimento de rótulos ecológicos, tendo desenvolvido diversas normas que servem de referência para o desenvolvimento de declarações ambientais de produtos de construção e dos respetivos programas de registo.

De entre as várias normas elaboradas pela *International Organization for Standardization* importa destacar a norma ISO 14025:2006 que tem como principal objetivo estabelecer os princípios e procedimentos para o desenvolvimento de declarações ambientais tipo III e a norma ISO 21930:2007 que estabelece regras essenciais para a emissão de declarações ambientais para produtos de construção [84,86].

O *European Committee for Standardization* foi responsável pelo desenvolvimento e publicação da norma EN 15804:2012 que estabelece as regras para a categoria de produtos (RCP), que servem de base para a elaboração das declarações ambientais de produto para qualquer produto

ou serviço de construção e EN 15942:2011 que pretende especificar o formato da comunicação de informação acerca do desempenho ambiental do produto entre empresas (empresa-empresa) [87-89].

3.4.3 Regras de categoria do produto

As Regras de Categoria de Produtos, RCP's ou *Product Category Rules* (PCR) constituem “um conjunto de regras, requisitos, e linhas de orientação específicas para o desenvolvimento de declarações ambientais Tipo III, para uma ou mais categorias de produto” [90].

As RCP's devem servir como guia em todo o processo de análise do ciclo de vida dos produtos em estudo e a sua aplicação permite que, em alguns casos, se possam comparar declarações ambientais de produto provenientes de fabricantes diferentes. Tendo em conta que para diferentes categorias de produto existem regras e linhas de orientação muito próprias, a aplicação de ACV pode variar devido a vários fatores, como seja a função do produto ou a complexidade do processo produtivo. Desta maneira pode-se afirmar que o elevado nível de complexidade de um determinado produto de construção é condição suficiente para esse produto, por si só, possa constituir uma categoria de produto. Noutros casos, produtos diferentes podem agrupar-se na mesma categoria de produto, desde que se possa aplicar a mesma unidade funcional e a mesma unidade declarada, porém deverá ser feita uma análise caso a caso, respeitando sempre as especificações estabelecidas para o desenvolvimento das regras de categoria de produto [90].

As RCP's possuem objetivos bem definidos, que fortalecem a sua preponderância no processo de elaboração de uma declaração ambiental, como seja: disponibilizar dados verificáveis e consistentes para uma DAP, com base em ACV; disponibilizar informação atestável e consistente relacionada com cenários para a avaliação do desempenho de edifícios a nível ambiental e da saúde dos utilizadores; garantir que as comparações entre produtos de construção são realizadas no contexto da sua aplicação num edifício; assegurar a comunicação de informação ambiental de produtos de construção entre empresas; fornecer informação ambiental dos produtos de construção aos consumidores [87].

Segundo o CAATEEB, os conteúdos que devem integrar qualquer Regra de Categoria de Produto são [90]:

- Definição e descrição da categoria de produto: função e desempenho técnico (incluindo uma descrição do procedimento de instalação na obra e dos materiais ou produtos necessários para a instalação e manutenção);
- Objetivos e âmbito da Análise de Ciclo de vida: unidade funcional ou unidade declarada, limites do sistema (incluindo um diagrama com as fases do ciclo de vida

- envolvidas), descrição dos dados, categorias de impacto ambiental a considerar e unidades;
- Análise de inventários: recolha de dados, procedimentos de cálculo, emissões dos fluxos de materiais e energia;
 - Seleção de categorias de impacto e regras de cálculo;
 - Metodologia de comunicação dos dados de ACV;
 - Instruções sobre a forma de produzir os dados necessários para o desenvolvimento de uma declaração ambiental de produto;
 - Regras relativas ao conteúdo e formato da DAP.

3.4.4 Conteúdo das DAP

As declarações ambientais de produto constituem uma ferramenta de grande utilidade, uma vez que expõem dados quantificáveis acerca do desempenho ambiental de um determinado produto que possibilitam a comparação entre produtos que desempenhem funções idênticas. Nesta ótica torna-se importante conhecer a informação disponibilizada por este tipo de documento, tendo presente que usualmente as DAP's têm todas o mesmo tipo de formato e incluem o mesmo tipo de informação. Assim, os conteúdos presentes numa declaração ambiental de produto devem ser: identificação e descrição da organização que desenvolve a declaração, descrição do produto, identificação do produto, data da publicação e período de validade, nome e morada da empresa, identificação das RCP's aplicadas, dados da Avaliação do Ciclo de vida (ACV) e Inventários de ciclos de Vida (ICV), identificação das fases do ciclo de vida do produto, informação ambiental adicional, informações sobre o conteúdo do produto [79,90].

Relativamente às diversas informações contidas numa declaração ambiental de produto, importa referenciar a clareza de exposição da informação relativa ao desempenho ambiental dos produtos. Assim, tendo em consideração a ISO 14025, a informação deve estar organizada da seguinte forma [79,84]:

- Dados do inventário do ciclo de vida (ICV):
 - consumo de recursos, incluindo energia, água e recursos renováveis;
 - emissões e descargas para o ar, água e solo;
- Resultados dos indicadores da avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV):
 - depleção de recursos;
 - potencial de aquecimento global;
 - depleção da camada de ozono;
 - potencial de acidificação do solo e fontes de água;
 - potencial de eutrofização;

- potencial de formação de oxidantes fotoquímicos;
- Outros dados, tais como quantidades e tipos de resíduos produzidos (resíduos perigosos e não perigosos).

Tendo em conta a preponderância inequívoca das diversas categorias de impacto ambiental enunciadas para a avaliação do desempenho ambiental dos produtos, torna-se necessário introduzir uma explicação acerca dos principais fatores que condicionam os seus efeitos no meio ambiente bem como as respetivas unidades consideradas.

- Aquecimento global

A contínua emissão de gases de efeito de estufa, essencialmente de CO₂ originário da queima de combustíveis, tem contribuído ativamente para o agravamento deste fenómeno. Estes gases absorvem parte da radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre, impedindo que esta se escape para o espaço, provocando assim um aumento global de temperatura [75,91].

- Depleção da camada de ozono

A camada de ozono situa-se na estratosfera e tem como principal função proteger a superfície terrestre do contacto direto com as radiações ultravioletas provenientes do sol. A diminuição da camada de ozono tem como consequência imediata a redução da sua capacidade de absorção de radiações. Este facto deixa a superfície terrestre mais vulnerável à penetração de raios ultravioletas, o que pode representar problemas para a saúde humana, bem como ao nível dos ecossistemas [91]. Os clorofluorcarbonetos (CFC's) e os óxidos nítricos são identificados como os principais responsáveis pela destruição da camada de ozono.

- Acidificação

A acidificação da água e solo resulta de um acréscimo das concentrações de gases poluentes na atmosfera, para além de valores desejáveis. Os óxidos nítricos e de enxofre, o amoníaco e o ácido clorídrico são identificados como os principais causadores de chuvas ácidas (precipitação com pH inferior a 5,6). Um dos principais problemas associados às deposições ácidas prende-se com a alteração dos ecossistemas.

- Oxidação fotoquímica

As propriedades oxidantes do ozono contribuem para o agravamento de determinados problemas ambientais. Na presença de radiação ultravioleta, grupos como os óxidos de azoto (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis (COV's) dão origem a diversos oxidantes fotoquímicos que contribuem para a formação de smog fotoquímico (nuvem de poluição atmosférica que causa diminuição de visibilidade na atmosfera). O elevado acréscimo das

quantidades médias de ozono na troposfera (camada de ar que nós respiramos) que se tem vindo a verificar pode acarretar vários problemas relacionados com a saúde humana [75].

– Eutrofização

Este fenómeno resulta essencialmente de um aumento excessivo de nutrientes derivados do azoto e do fósforo em reservatórios naturais de água. Este excesso de nutrientes produz elevadas quantidades de algas que se acumulam à superfície e dificultam o processo de fotossíntese das plantas mais profundas. Assim, esta diminuição de oxigénio pode culminar na morte e consequente decomposição de diversos organismos, que por sua vez pode influenciar negativamente a qualidade da água e contribuir para alterações evidentes nos ecossistemas.

3.4.5 Programas de registo das DAP

As declarações ambientais de produto têm por base uma metodologia de avaliação de ciclo de vida e representam uma importante ferramenta de comunicação acerca do desempenho ambiental dos produtos.

Também em Portugal, à semelhança do que acontece em diversos países, surge um programa de registo de Declarações Ambientais do tipo III designado por Sistema DAPHabitat. O sistema DAPHabitat foi construído no âmbito dum projeto SIAC (Sistema de apoio a ações coletivas) e teve como objetivo desenvolver, com visibilidade nacional e internacional, um sistema de verificação e registo de declarações ambientais de produtos (DAP).

Na Tabela 3.3 apresentam-se algumas informações relativas aos principais programas de registo de DAP's existentes na Europa.

Tabela 3.3 – Programas de registo de DAP

Programa	País	Entidade Coordenadora	Endereço
DAPHabitat	Portugal	Plataforma de Construção Sustentável	http://www.daphabitat.pt/
DAPc	Espanha	CAATEEB	http://www.csostenible.net/
NIES	França	CSTB	http://www.inies.fr/
IBU	Alemanha, Áustria e Suíça	IBU – Institut für Bauen und Umwelt	http://bau-umwelt.de/
BRE environmental profiles	Reino Unido	BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	http://www.bre.co.uk/

Capítulo 4

*Casos de estudo: soluções construtivas de
isolamentos de paredes de fachada e de
coberturas*

Capítulo 4 Casos de estudo: soluções construtivas de isolamento de paredes de fachada e de coberturas

4.1 Enquadramento

De forma a reduzir o impacto que a construção, nomeadamente o setor dos edifícios, tem nas três vertentes da sustentabilidade (ambiente, sociedade e economia) deve-se ter em conta diversos critérios na seleção dos materiais de construção. A metodologia que serve como ferramenta essencial para avaliar a sustentabilidade de um material ou produto, deve englobar as diversas atividades que decorrem durante o seu ciclo de vida, ou seja, desde a extração das matérias-primas necessárias à sua produção até à sua deposição final.

Neste capítulo da dissertação em particular, serão apresentados dois casos de estudo de forma a conseguir fazer uma análise comparativa acerca do desempenho ambiental de diferentes materiais de construção que desempenhem a mesma função, tendo em conta diversas categorias de impacto ambiental.

4.2 Metodologia experimental

A escolha dos materiais de construção tendo em conta os parâmetros da sustentabilidade não pode ser feita de uma forma aleatória nem dispensando a análise global dos impactos ambientais causados pelo material. Portanto a avaliação do desempenho ambiental de materiais constitui um processo complexo que pressupõe a concretização de levantamentos exaustivos sobre os impactos ambientais do material ao longo da sua vida útil.

No processo de estudo dos casos referenciados, recorrer-se-á a declarações ambientais de produto – DAP's, uma vez que este documento apresenta dados ambientais quantificados sobre o ciclo de vida de um produto de forma a permitir comparações entre produtos que desempenhem a mesma função.

Os dados recolhidos através das declarações ambientais de produto têm como referência a DAP Francesa que se encontra disponibilizada em www.inies.fr e as características ambientais presentes no documento estão definidas conforme as exigências da norma NF P 01-010.

Os critérios de desempenho ambiental presentes nas DAP's a analisar neste estudo de caso são os seguintes:

- consumo de recursos naturais:
 - energéticos (renováveis e não renováveis);
 - não energéticos;

- água;
- emissões para o ar;
- produção de resíduos;
- impactes ambientais:
 - potencial de aquecimento global;
 - potencial de acidificação;
 - potencial de oxidação fotoquímica;
 - potencial de eutrofização.

Com o intuito de comparar materiais diferentes que desempenhem a mesma função num edifício tendo em conta os diversos critérios de sustentabilidade, a seguinte metodologia será utilizada:

- Seleção dos materiais para o isolamento térmico;
- Consulta de declarações ambientais de produtos, a fim de obter os dados do inventário do ciclo de vida e os respetivos indicadores da avaliação de impacto do ciclo de vida dos materiais em estudo;
- Realizar um estudo comparativo entre os materiais tendo em conta os diversos parâmetros acima mencionados;
- Análise e discussão dos resultados.

4.3 Soluções construtivas a estudar

O setor residencial é responsável por um elevado consumo da energia total produzida. Portanto, é necessário implementar medidas que visem diminuir o consumo de energia neste sector e que ao mesmo tempo não reduzam o conforto nem a qualidade de vida dos utentes do edifício.

As maiores perdas energéticas que se verificam num edifício é através da sua envolvente, seja pelo telhado, paredes, portas, janelas, pavimentos, etc. Portanto, a forma mais eficiente e económica para reduzir o consumo energético no arrefecimento e aquecimento das habitações e o risco de condensações é a melhoria da estrutura que envolve o edifício. Ora seguindo esta linha de pensamento, e como já vimos anteriormente, a utilização de isolamento térmico assume um papel preponderante na redução do consumo de energia e por consequente no aumento de eficiência energética dos edifícios. Sendo evidente os benefícios que a aplicação deste tipo de materiais traz a nível de poupança energética, é também importante considerar o desempenho ambiental destes produtos ao longo do seu ciclo de vida de forma a seleccionar um material isolante eficiente e que represente reduzidos impactes ambientais.

Estes estudos de caso pretendem analisar e comparar diferentes soluções construtivas de isolamento de paredes de fachada pelo interior e de isolamento de coberturas tendo em conta

determinados parâmetros que caracterizam o desempenho ambiental dos materiais. As paredes e as coberturas são responsáveis por mais de 50% das perdas energéticas associadas à envolvente dos edifícios, portanto torna-se pertinente e importante encontrar soluções que proporcionem um sistema de isolamento eficaz e que ao mesmo tempo contribuam para a proteção do meio ambiente.

4.3.1 Isolamento térmico de paredes de fachada pelo interior

O sistema de isolamento térmico de paredes de fachada pelo interior apresenta um leque bastante alargado e diversificado de vantagens que faz deste, uma alternativa viável ao sistema de isolamento pelo exterior, vulgarmente designado por ETICS: na área da reabilitação este sistema permite a preservação da identidade arquitetónica da fachada e ainda a intervenção individualizada num ou mais fogos de um edifício residencial coletivo; a aplicação e o desempenho do material durante a fase de utilização do edifício não são condicionados pelos fatores climáticos; possibilidade de incorporação de elementos de revestimento como o gesso cartonado, por forma a aumentar a sua resistência ao fogo. Este sistema constitui uma solução construtiva economicamente menos dispendiosa que a solução de isolamento pelo exterior, não sendo necessária a utilização de andaimes durante a sua aplicação [92].

Como fatores menos favoráveis à aplicação deste sistema surge o potencial aparecimento de pontes térmicas, eventuais problemas de estanquidade associados à ação da água nas paredes exteriores. No que diz respeito à reabilitação, este sistema exige o abandono dos habitantes do interior do edifício e implica uma redução da área útil interior, que apesar de ser reduzida pode representar uma quebra no valor do imóvel.

Neste caso de estudo em particular serão abordados alguns isolantes que habitualmente estão nas presentes nas soluções de isolamento térmico, tais como:

- Poliuretano (PU);
- Poliestireno expandido (EPS);
- Lã de vidro.

O sistema de isolamento considerado é constituído por uma placa de gesso cartonado e por uma placa de isolamento térmico (PU, EPS, Lã de vidro). Estas duas placas funcionam como um complexo rígido que será colado diretamente em paredes interiores de betão ou alvenaria (Figura 4.1).

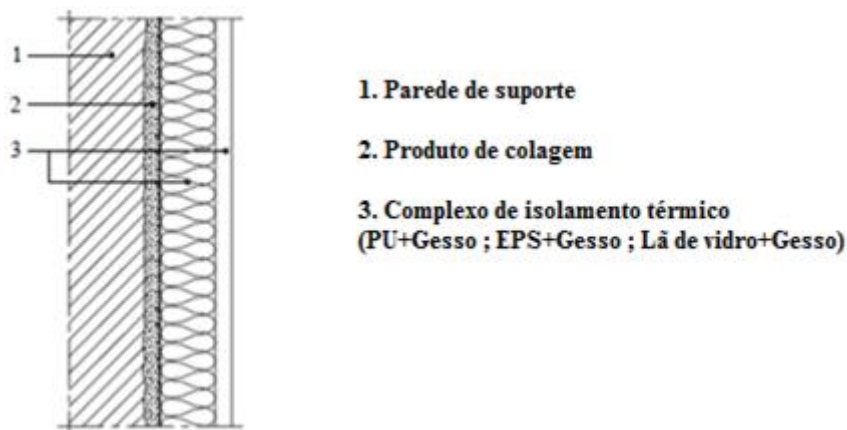


Figura 4.1 – Sistema construtivo de isolamento de parede de fachada pelo interior

Tendo em conta a existência de variadas opções para a espessura dos complexos de isolamento térmico, importa especificar as soluções analisadas neste estudo de caso. Na Tabela 4.1 pode-se verificar as espessuras dos materiais utilizados no complexo de isolamento térmico.

Tabela 4.1 – Espessura dos materiais que formam o complexo de isolamento térmico

Marca do isolante	Gesso cartonado (mm)	Isolante (mm)
Placotherm (PU)	13	80
Doublíssimo Confort (EPS)	13	80
Calibel (Lã de vidro)	10	80

Apesar do propósito de utilização ser o mesmo (isolar termicamente o edifício), estes materiais isolantes têm propriedades próprias que os distingue. (Tabela 4.2). A condutividade térmica de um material quantifica a habilidade dos materiais em conduzir energia térmica, daí o coeficiente de condutividade térmica destes materiais ser bastante pequeno quando comparado com outro tipo de materiais.

Tabela 4.2 – Propriedades térmicas dos complexos de isolamento

	Placotherm	Doublíssimo	Calibel
Coefficiente de condutividade térmica (λ)	0.023 W/m.K	0.032 W/m.K	0.034 W/m.K
Resistência térmica (R)	3.5 m ² .K/W	2.75 m ² .K/W	2.40 m ² .K/W

Para além das suas características próprias, estes materiais apresentam processos de produção diferentes. Tendo em conta que esta realidade constitui um fator relevante no desempenho ambiental evidenciado pelos diferentes materiais em estudo, torna-se essencial conhecer o seu

processo de fabrico. Como tal, em seguida apresenta-se o processo produtivo dos materiais constituintes dos diferentes complexos de isolamento térmico.

Gesso cartonado: Este material é fabricado essencialmente a partir de gesso, água e alguns aditivos. O mineral de gesso encontra-se normalmente à superfície e em profundidades até vinte metros, extrai-se com a ajuda de explosões controladas que geram uma grande variedade de tamanhos de pedra.

As pedras são sujeitas a um processo de moagem através de moinhos de impacte e de mandíbulas com intuito de reduzir consideravelmente as suas dimensões (inferiores a 20mm).

As partículas de gesso são então misturadas com água e outros aditivos formando uma pasta homogénea que é introduzida em moldes. Aí, será revestida por cartão e posteriormente será sujeita a um processo de secagem.

Após a secagem, as placas de gesso são cortadas em comprimentos normalizados e armazenadas para posterior distribuição.

Poliuretano: Os principais intervenientes na formação do poliuretano (isocianato e o polioliol), têm origem no processo de refinação do petróleo. Normalmente os reagentes mais utilizados na formação das espumas de poliuretano são o isocianato, a água, o polioliol, agentes de expansão auxiliares e aditivos. Os reagentes são misturados em máquinas próprias para o efeito, dando início à reação de polimerização que origina as espumas de poliuretano. Os blocos de espuma formados sofrem um processo de arrefecimento e posteriormente são cortados com as dimensões pretendidas e embalados.

Poliestireno expandido: A matéria-prima necessária à produção de poliestireno expandido resulta do processo de refinação do petróleo. Numa primeira fase o poliestireno é expandido por um pré-expansor através de aquecimento por contacto com vapor de água, resultando um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que são armazenadas para estabilização.

Durante a fase de estabilização dá-se o arrefecimento do EPS que propicia uma depressão no interior das células, sendo os espaços criados, preenchidos pelo ar circundante. O granulado estabilizado é introduzido em moldes e novamente exposto a vapor de água, o que provoca a consolidação do mesmo; assim obtém-se um material expandido, que é rígido e contém uma grande quantidade de ar. Os granulados de EPS são posteriormente cortados em painéis de comprimento específico e empilhados em paletes para serem distribuídos.

Lã de Vidro: A lã de vidro é essencialmente constituída por areia e vidro reciclado. Estas matérias-primas são introduzidas num forno, onde sofrem um processo de fusão a uma temperatura de aproximadamente 1400°C.

O material fundido passa por um sistema de rotação de 2000 voltas/min que permite obter fibras de vidro com diâmetro constante e alguns centímetros de espessura. Após arrefecimento, as fibras são fixadas entre elas através da ajuda de ligantes orgânicos e vegetais (p. ex. resinas).

Depois de um novo período de aquecimento, a lã de vidro apresenta-se como um material isolante constituído por uma estrutura porosa e elástica que representa uma barreira muito eficaz contra o frio do Inverno e o calor do Verão.

Por fim, a lã de vidro é cortada em painéis ou em rolos, embalada e colocado em paletes. O facto de este material poder ser comprimido até 10 vezes a sua espessura constitui uma vantagem acrescida na medida em que reduz o número de transportes e otimiza o espaço de armazenamento.

4.3.2 Isolamento térmico de coberturas

Relativamente aos elementos da envolvente, estima-se que as coberturas/telhados representem a fatia mais significativa (cerca de 30%) das perdas energéticas associadas à envolvente de um edifício. A procura de sistemas construtivos mais eficientes a nível térmico e ambiental constitui então uma área de intervenção decisiva para a obtenção de construções mais sustentáveis.

As diferentes soluções construtivas analisadas neste segundo caso de estudo incorporam os seguintes materiais de isolamento térmico:

- Fibras têxteis recicladas (essencialmente algodão).
- Poliestireno expandido (EPS);
- Fibras de linho e cânhamo;

Relativamente aos sistemas construtivos que os materiais isolantes referenciados integram, importa diferenciá-los em dois tipos. Os isolamentos à base de fibras de linho e de cânhamo (Biofib Duo) e à base de fibras têxteis recicladas (Métisse) são aplicados essencialmente em coberturas inclinadas com estrutura de madeira através de métodos muito semelhantes. A aplicação destes materiais é uma prática comum na área da reabilitação térmica de edifícios, sendo efetuada pelo lado interior da vertente inclinada num processo considerado bastante simples e rápido e que não exige características mecânicas específicas por parte material isolante, uma vez que este não desempenha qualquer função de suporte de carga. Contudo, a implementação deste tipo de sistema conduz geralmente ao aparecimento de pontes térmicas que devem ser eficazmente corrigidas de modo a evitar a transferência de calor entre os espaços

exteriores e interiores que estão na origem de diversas anomalias (condensações interiores, formação de zonas frias em edifícios). A Figura 4.2 ilustra o sistema construtivo de isolamento térmico de coberturas inclinadas onde se aplica os dois materiais isolantes referidos. Este sistema é relativamente simples e consiste na aplicação de uma primeira camada de isolante entre os caibros que constituem a estrutura de madeira, seguidamente aplica-se uma segunda camada cruzada de isolante que apoia numa estrutura metálica que servirá para fixar o revestimento interior (por exemplo: gesso cartonado).

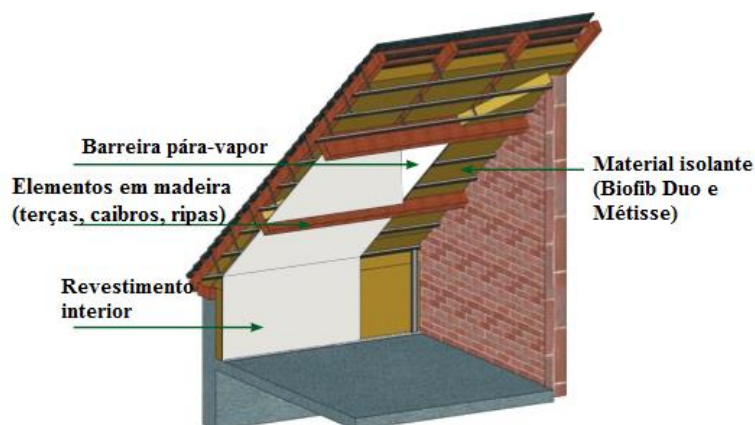


Figura 4.2 – Sistema construtivo de isolamento térmico em cobertura inclinada (Biofib Duo e Métisse)

A solução construtiva de isolamento térmico de coberturas que integra as placas de poliestireno expandido (painel sandwich Fibratec) é também recorrentemente aplicada em coberturas inclinadas com estrutura de madeira. O sistema com o painel Fibratec constitui um eficaz suporte para diversos revestimentos de coberturas e apresenta ainda variadas funções como: isolamento térmico pelo exterior contínuo e sem pontes térmicas; ventilação adequada; acabamento do teto. A aplicação deste tipo de solução faz com que muitas vezes a estrutura de madeira que constitui a cobertura fique à vista, colocando em destaque toda a elegância e charme deste tipo de material. Basicamente, esta solução é constituída por uma placa de poliestireno expandido, revestido superiormente por um painel hidrófugo (3mm), onde se fixa o contra ripado que serve de apoio ao revestimento exterior da cobertura (telhas, zinco, etc) e inferiormente por uma placa de gesso cartonado (13mm) que funciona como revestimento interior capaz de receber um acabamento em pintura (Figura 4.3).

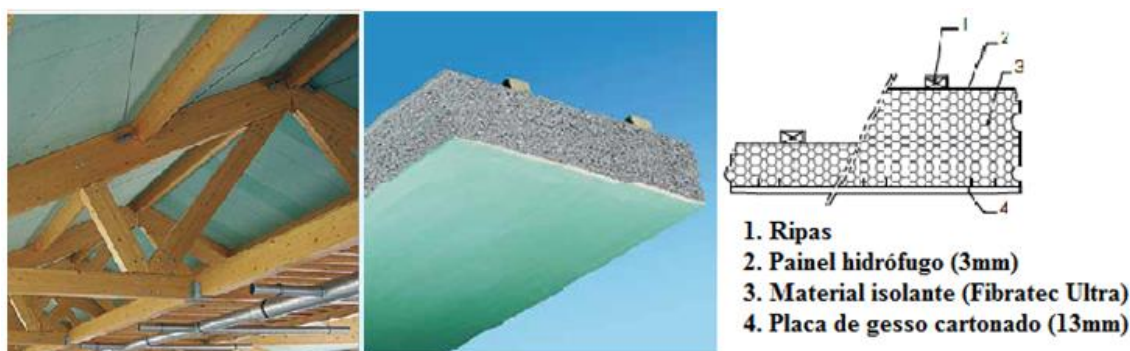


Figura 4.3 – Sistema construtivo de isolamento térmico em cobertura inclinada (Fibratec)

Os materiais de isolamento referenciados podem ser comercializados com diversas dimensões. Assim, importa salientar que a comercialização dos isolamentos à base de fibras têxteis recicladas (Métisse) e à base de fibras de linho e cânhamo é realizada sob a forma de rolos, enquanto a do isolamento que integra poliestireno expandido (Fibratec) é realizada em forma de painel e neste caso de estudo possuem as dimensões apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Dimensões dos diferentes materiais de isolamento para coberturas inclinadas

Isolamento	Comprimento (m)	Largura (m)	Espessura (mm)
Métisse	8	0.6	100
Fibratec Ultra Platre	3.6	0.6	156
Biofib Duo	2.5-8	0.6	100

Ao nível da eficiência energética de edifícios, a principal característica destes materiais é o seu baixo fator de condutividade térmica que os distingue da maioria dos materiais de construção (Tabela 4.4). Através do emprego deste tipo de materiais consegue-se a redução de trocas de calor entre o exterior e interior dos edifícios, ou seja consegue-se limitar o consumo de energia associado ao aquecimento e arrefecimento dos espaços, que como vimos na secção 2.2.1.1 deste trabalho, se intitula como um dos principais responsáveis pelo consumo energético em edifícios.

Tabela 4.4 – Propriedades térmicas das diferentes soluções de isolamento para coberturas inclinadas

	Métisse	Fibratec	Biofib Duo
Coefficiente de condutividade térmica (λ)	0.039 W/m.K	0.031 W/m.K	0.041 W/m.K
Resistência térmica (R)	2.56 m ² .K/W	5.02 m ² .K/W	2.44 m ² .K/W

A análise do desempenho ambiental dos diferentes produtos que se pretende neste caso de estudo, tem por base todas as etapas que constituem o ciclo de vida dos materiais. Neste sentido,

importa conhecer o processo produtivo dos diferentes materiais isolantes em análise, visto que a etapa de produção é normalmente uma das fases que mais condiciona a performance ambiental dos produtos.

– **Isolamento à base de fibras têxteis reciclados (Métisse)**

Este material de isolamento resulta essencialmente da reciclagem de fibras têxteis (algodão). Os tecidos e roupas já utilizados são a principal fonte de matéria-prima necessária à fabricação deste tipo de isolamento. Inicialmente os materiais são sujeitos a um processo de triagem tendo em conta a sua qualidade e composição. Seguidamente o material selecionado incorre num sistema de desfibração especializada onde são removidos todos os componentes desnecessários (botões, etc). As fibras têxteis são depois misturadas e ligadas entre si através de fibras de poliéster, onde a passagem por um forno a 140°C permite a sua consolidação homogénea, formando uma manta isolante sob a forma de rolos ou placas (Figura 4.4).



Figura 4.4– Processo construtivo do isolamento Métisse

– **Isolamento à base de fibras de linho e cânhamo (Biofib Duo)**

O Biofid Duo é um material composto maioritariamente por fibras de cânhamo e de linho. O contributo deste isolamento para a redução dos impactes ambientais inicia-se logo na fase de extração das matérias-primas, onde as plantas de cânhamo e linho, através do processo de fotossíntese retiram CO₂ da atmosfera, transformando-o em oxigénio.

As palhas de cânhamo e linho são levadas para locais industriais que se situam relativamente próximos dos campos de produção, o que indicia baixas emissões de CO₂ associadas ao seu transporte. Nestes locais sofrem processos de desfibração, de onde se obtém as fibras necessárias à produção do material isolante e outros produtos residuais que são reaproveitados e integrados na fabricação de diversos produtos (Ex: revestimentos). A ligação entre as fibras de cânhamo e linho é realizada com a ajuda de ligantes, que entram num sistema automatizado de controlo dos produtos finais (peso, espessura e densidade), que origina uma manta isolante sob a forma de rolos ou de painéis (Figura 4.5).

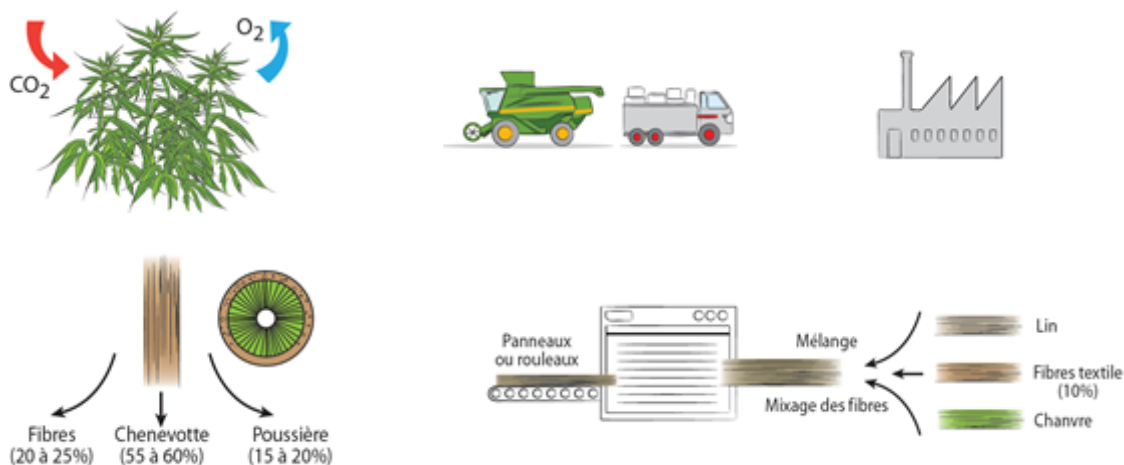


Figura 4.5 – Processo construtivo do isolamento Biofib Duo

Relativamente ao painel sandwich Fibratec, importa salientar que os processos produtivos dos materiais que compõem esta solução (poliestireno expandido e gesso cartonado) já foram abordados na secção anterior, 4.3.1.

4.4 Desempenho ambiental dos materiais em estudo

De forma a normalizar toda a informação acerca de todas as entradas (inputs) e saídas do sistema (outputs) utiliza-se uma unidade funcional que permitirá a quantificação do desempenho ambiental do produto em estudo. Relativamente aos materiais que compõem os diferentes tipos de isolamento em análise, os dados consultados e evidenciados nas declarações ambientais apresentam como unidade funcional, 1 m² de isolamento.

Neste capítulo apresentam-se os resultados da análise do desempenho ambiental dos materiais em estudo, tendo em consideração que os valores associados aos diversos critérios ambientais analisados correspondem à soma de várias parcelas constituintes do ciclo de vida do material em causa, desde a sua produção até à sua deposição final, num período típico de vida de 50 anos.

Antes de iniciar o processo de análise mais detalhado das informações contidas nas DAP's dos diferentes materiais importa distinguir a fase de análise dos dados do inventário do ciclo de vida, que está diretamente relacionada com a recolha, descrição e verificação dos dados que tem como objetivo quantificar os fluxos de entrada do sistema (consumo de recursos, energia, água, emissões e descargas para o ar e água, etc) e a fase de avaliação do ciclo de vida, que tem como objetivo avaliar a contribuição do produto para as diferentes categorias de impacto ambiental, potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de oxidação fotoquímica e potencial de eutrofização.

Por forma a concluir este estudo de caso é necessário comparar as diferentes soluções de isolamento de paredes e coberturas tendo em conta cada um dos parâmetros ambientais considerados. Desta forma, nas secções seguintes apresentam-se tabelas-síntese e gráficos que permitem relacionar quantitativamente os critérios ambientais considerados para cada um dos materiais em estudo.

4.4.1 Isolamento térmico em paredes de fachada pelo interior

A avaliação do ciclo de vida baseia-se essencialmente na quantificação e avaliação das entradas, saídas e potenciais impactes ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida, portanto torna-se importante identificar os fluxos considerados no processo de avaliação do ciclo de vida dos materiais em estudo (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Fluxos considerados no processo de avaliação do ciclo de vida dos isolamentos

Etapas do ciclo de vida	Placotherm (PU)	Doublissimo (EPS)	Calibel (Lã de vidro)
Produção	-extração e transporte de matérias-primas; -consumo de energia; -tratamento de resíduos de produção;	-extração e transporte de matérias-primas; -consumo de energia; -produção de eletricidade; -tratamento de resíduos de produção;	-extração de matérias-primas; -produção de lâ mineral; -produção de eletricidade; -extração, transporte e combustão de gás natural e outros combustíveis; -produção das embalagens;
Transporte		-produção e combustão do gasóleo;	
Aplicação em obra	-transporte e descarga das sobras resultantes da aplicação do material em obra;		
Vida em obra	-poupança energética associada à aplicação do isolamento;		
Deposição final	-transporte dos resíduos, da obra até ao local da sua deposição final;		

De forma a simplificar a comparação entre os diferentes tipos de isolamento exibe-se a Tabela 4.6, onde estão expostos dados quantitativos do inventário do ciclo de vida dos produtos (consumo de energia renovável e não renovável, consumo de água, consumo de recursos não energéticos, emissões para o ar e produção de resíduos), bem como os principais indicadores da

avaliação de impacto do ciclo de vida considerados (potencial de aquecimento global, de acidificação, de oxidação fotoquímica e de eutrofização).

Tabela 4.6 – Dados do ICV e indicadores da AICV referentes aos três tipos de isolamento de paredes baseadas na duração típica de vida do material (50 anos)

Categoria de impacto	Unidades / m²	Placotherm (PU)	Doublissimo (EPS)	Calibel (Lã de vidro)
Energia renovável	MJ	6.68	3.94	17.50
Energia não renovável	MJ	320	209	192
Consumo de recursos não energéticos	kg	16.61	12.79	3.83
Consumo de água	l	224	38.70	69.20
Emissões para o ar	g	12600	7850	7350
Produção de resíduos	kg	15.96	14.72	18.49
Potencial de Aquecimento global	kg eq.CO ₂	14.07	8.71	7.65
Potencial de acidificação	kg eq.SO ₂	0.060	0.039	0.046
Potencial de oxidação fotoquímica	kg eq.C ₂ H ₄	0.0097	0.0032	0.0042
Potencial de eutrofização	g eq.PO ₄ ³⁻	5.78	N/D	0.39

4.4.1.1 Energia renovável

No que diz respeito a este dado do inventário do ciclo de vida, são identificadas como principais fontes de energia renovável, a energia solar, hídrica, eólica, geotérmica e biomassa. A unidade utilizada é o megajoule por metro quadrado (MJ/m^2).

Tendo por base a análise do gráfico da Figura 4.6, rapidamente se percebe que material responsável pelo maior consumo de energia renovável é o Calibel com $17.5 \text{ MJ}/\text{m}^2$, seguido do Placotherm com $6.68 \text{ MJ}/\text{m}^2$ e posteriormente pelo Doublíssimo com apenas $3.94 \text{ MJ}/\text{m}^2$.

De acordo com as DAP's analisadas verifica-se que para todos os materiais em estudo, o consumo de energia renovável acontece essencialmente na fase de produção e apesar das declarações ambientais não fornecerem qualquer informação sobre a proveniência do consumo de energia renovável, é provável que a energia solar seja a principal responsável pelos resultados obtidos, uma vez que a integração de painéis solares é uma medida cada vez mais recorrente nas indústrias. Este tipo de solução permite complementar as necessidades de eletricidade e/ou aquecimento de águas nos sistemas de produção.

O elevado consumo de energia renovável associado à produção do Calibel está então possivelmente relacionado com a utilização de um forno elétrico para a fusão das matérias-primas (areia e vidro reciclado) utilizadas na produção da lã de vidro.

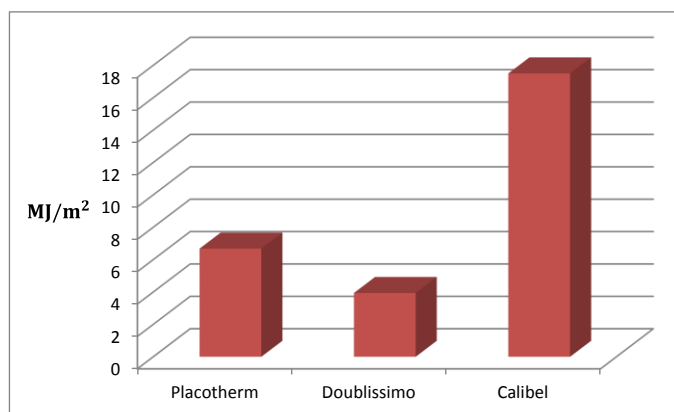


Figura 4.6 – Energia renovável associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.1.2 Energia não renovável

Este critério de impacto ambiental está associado essencialmente à utilização exasperada de recursos naturais não renováveis para a produção de energia. Apesar de nos últimos anos, as reservas das principais fontes de energia fóssil (carvão, gás natural e petróleo) terem aumentado segundo uma taxa que é superior ao aumento de consumo dessas fontes, é de prever que a longo prazo, o contínuo uso indiscriminado de recursos energéticos fósseis resulte no esgotamento de

recursos não renováveis. O megajoule por metro quadrado (MJ/m^2) é a unidade considerada para evidenciar os consumos de energia não renovável dos diferentes materiais em estudo.

Através da análise das declarações ambientais dos materiais em estudo, verifica-se que o petróleo e o gás natural são claramente os combustíveis fósseis mais consumidos durante o ciclo de vida dos respetivos materiais. Relativamente ao Doublíssimo e ao Placotherm, pode-se afirmar que ambos utilizam matérias-primas resultantes da refinação do petróleo e do gás natural para produção de poliestireno expandido e poliuretano respetivamente, facto que contribui para os elevados valores de consumo dos combustíveis fósseis anteriormente referenciados.

Apesar de, a sua representatividade ser substancialmente menor, existem também outro tipo de fontes de energia não renováveis associadas ao ciclo de vida destes materiais, como seja o exemplo do urânio e do linhito utilizados na produção de eletricidade (Figura 4.7).

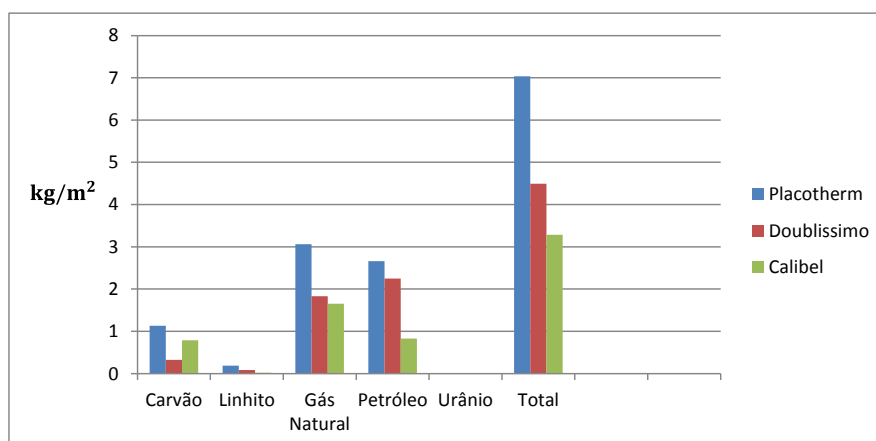


Figura 4.7 – Consumo de recursos energéticos não renováveis

A fase de produção constitui a parcela mais significativa do consumo de recursos não renováveis uma vez que, relativamente ao Placotherm, o valor é de $307 \text{ MJ}/\text{m}^2$ (cerca de 96% do valor total), no Doublíssimo o valor é de $200 \text{ MJ}/\text{m}^2$ (cerca de 96% do valor total) e quanto ao Calibel o valor é de $179.5 \text{ MJ}/\text{m}^2$ (cerca de 93% do valor total). Através do gráfico da Figura 4.8, que representa o consumo de energia não renovável associado ao ciclo de vida dos diferentes materiais, consegue-se verificar que o Placotherm é o material responsável pelo maior consumo de energia não renovável, $320 \text{ MJ}/\text{m}^2$. Logo de seguida aparece o Doublíssimo e o Calibel, com um consumo de $209 \text{ MJ}/\text{m}^2$ e $192 \text{ MJ}/\text{m}^2$ respetivamente.

As elevadas quantidades de energia não renovável associado à fase de produção dos materiais em estudo podem ser justificadas pelo processo de queima dos combustíveis fósseis e pela utilização de sistemas elétricos que acontece durante a etapa de processamento das matérias-primas necessárias. A fase de transporte representa, para quaisquer dos materiais em estudo,

uma fatia significativamente mais pequena no que diz respeito ao consumo de recursos energéticos não renováveis. A lã de vidro (Calibel) apresenta-se como um material flexível, com uma grande capacidade de compactação, o que proporciona uma otimização das quantidades transportadas e por conseguinte uma diminuição do número de transportes necessários.

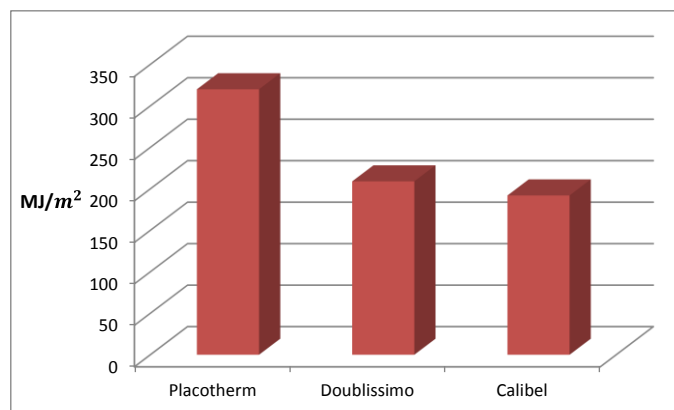


Figura 4.8 – Energia não renovável associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.1.3 Consumo de recursos naturais não energéticos

Relativamente ao consumo de recursos naturais não energéticos, a unidade utilizada é o quilograma por metro quadrado (kg/m²).

No caso do Placotherm e Doublíssimo, o recurso natural não energético mais consumido é a gipsita. Este recurso é essencialmente utilizado para a produção da placa de gesso cartonado utilizada nos diversos complexos de isolamento e por isso seria também expectável que relativamente ao Calibel se registasse um consumo de gipsita próximo dos valores obtidos para os restantes materiais, porém não é feita nenhuma referência acerca do consumo deste recurso na declaração ambiental respetiva. De realçar ainda as quantidades de areia e de cloreto de sódio que representam uma parcela significativa na produção da lã de vidro e do poliuretano respetivamente (Figura 4.9).

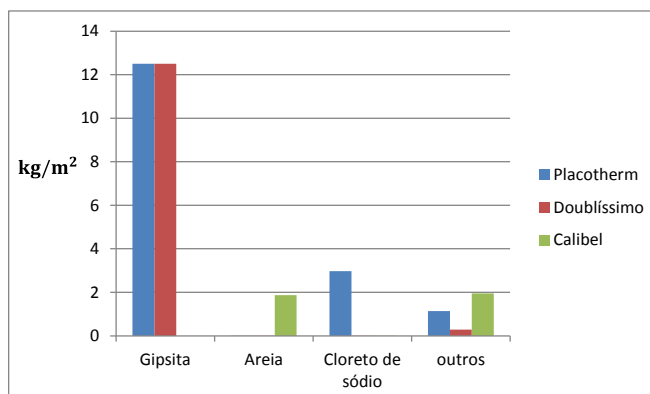


Figura 4.9 – Consumo de recursos naturais não energéticos associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.1.4 Consumo de água

A fim de comparar os consumos de água dos diferentes materiais em estudo durante o seu ciclo de vida utilizou-se como unidade, o litro por metro quadrado (l/m^2).

Neste critério, é notório um claro desfasamento entre o consumo de água associado ao ciclo de vida do Placotherm ($224 l/m^2$) e os consumos associados ao Doublíssimo e ao Calibel, 38.7 e $69.2 l/m^2$ respetivamente (Figura 4.10).

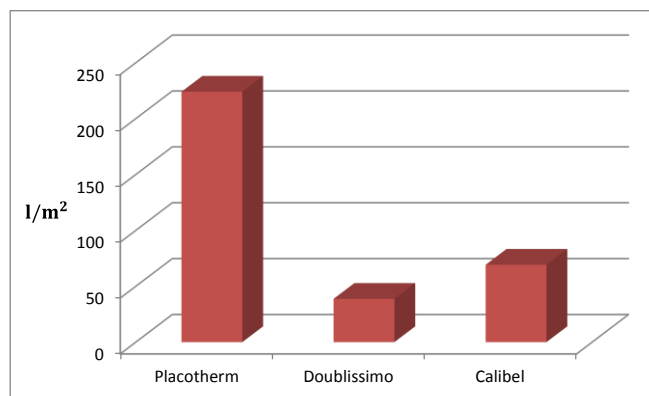


Figura 4.10 – Consumo de água associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

Relativamente ao Placotherm, o consumo de água evidenciado é essencialmente devido à fase de produção, uma vez que a água é utilizada para a produção de matérias-primas que integram o processo de fabrico do Poliuretano (PUR). No que diz respeito ao Doublíssimo, também a fase de produção é a principal responsável pelo consumo de água evidenciado, sendo esta essencialmente utilizada na produção das matérias-primas utilizadas no processamento do poliestireno e na expansão do poliestireno através de aquecimento por contacto com vapor de água. Assim como nos outros dois tipos de isolamento, é na fase de produção da lã de vidro que acontece o maior consumo de água. Ainda relativo ao Calibel, é de realçar a instalação de um sistema de reciclagem e de tratamento de águas de resfriamento que permite selecionar apenas as águas poluídas para eventual tratamento e reutilização.

O consumo de água nas etapas de colocação em obra, vida em obra e fim de vida/ deposição final é praticamente nulo.

4.4.1.5 Emissões para o ar

Esta categoria de impacto está diretamente associada a fenómenos como o aquecimento global e destruição da camada de ozono. Assim, como já foi referido anteriormente nesta dissertação, é importante optar por materiais de isolamento reciclados ou naturais em detrimento de materiais fabricados à base de clorofluorcarbonetos (CFC's) ou hidrofluorcarbonetos (HFC's), uma vez que estes compostos contribuem ativamente para a degradação da camada de ozono e para o

agravamento do efeito de estufa, respetivamente. A unidade de comparação utilizada para a análise das emissões para o ar associadas ao ciclo de vida dos materiais em questão é grama por metro quadrado (g/m^2).

Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 4.6, o Placotherm apresenta o valor mais elevado de emissões para o ar, cerca de $12600 \text{ g}/\text{m}^2$, em seguida surge o Doublissimo com cerca de $7850 \text{ g}/\text{m}^2$ e por último o Calibel com cerca de $7350 \text{ g}/\text{m}^2$ de gases emitidos para a atmosfera durante o seu ciclo de vida.

De entre as substâncias emitidas para a atmosfera durante o ciclo de vida dos materiais em estudo, como se pode constatar pela Figura 4.11, o dióxido de carbono (CO_2) é claramente a mais representativa, uma vez que no caso do Placotherm evidencia quantidades na ordem dos $12345 \text{ g}/\text{m}^2$ (cerca de 98% do total), no Doublissimo na ordem dos $7632 \text{ g}/\text{m}^2$ (cerca de 97% do total) e no Calibel $7232 \text{ g}/\text{m}^2$ (cerca de 98% do total).

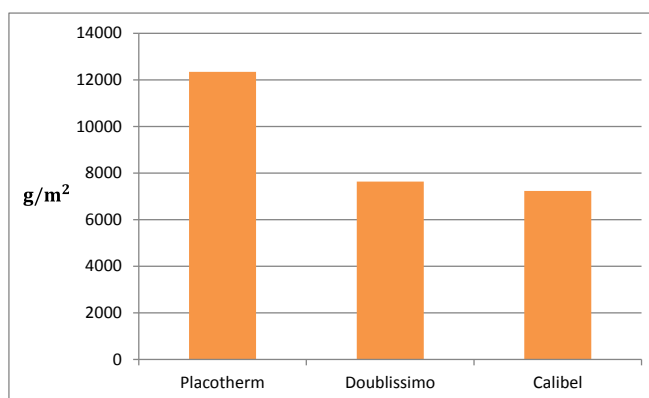


Figura 4.11 – Emissões de CO_2 associadas ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

Para os três materiais em análise, as emissões para a atmosfera são devidas essencialmente à fase de produção e de transporte. Relativamente à fase de produção, as quantidades verificadas estão associadas ao processamento das matérias-primas utilizadas, nomeadamente à queima de combustíveis fósseis e produção de eletricidade. Por sua vez na fase de transporte é a produção e a combustão de gasóleo consumido no transporte que se impõe como o principal fator causador de emissões atmosféricas.

O Placotherm, como já foi referido apresenta emissões de CO_2 muito superiores aos restantes isolamentos, porém durante o ciclo de vida destes materiais são também libertados para a atmosfera outro tipo de gases nocivos para o meio ambiente, como por exemplo o monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO_x e NO_2), óxidos de enxofre (SO_2 , SO_3 , SO_4), o metano (CH_4), entre outros.

Tendo em conta o gráfico da Figura 4.12, verifica-se que o Placotherm lidera as emissões de gases poluentes para a atmosfera, facto que pode ser explicado pela utilização de agentes de

expansão auxiliares como os hidrofluorcarbonetos (HFC's) e pentanos na produção do poliuretano. Também no caso do Doublíssimo a elevada quantidade de metano evidenciada pode ser justificada pela extração do petróleo ou do gás natural que são utilizados no processamento das matérias-primas para o fabrico do poliestireno expandido. Relativamente ao Calibel, é possível afirmar que as elevadas emissões de óxidos de azoto verificadas são provenientes dos fornos onde a areia e o vidro reciclado são fundidos durante a produção da lã de vidro.

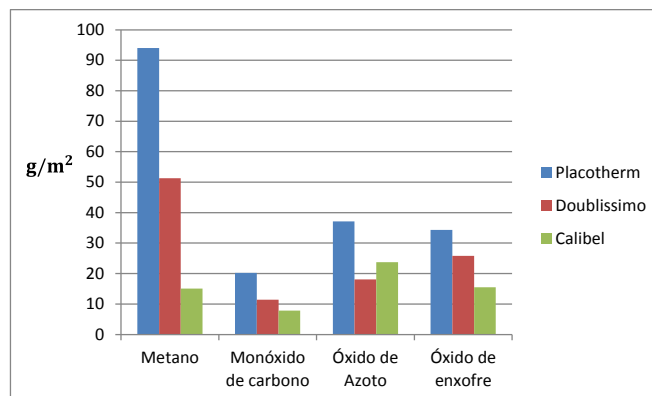


Figura 4.12 – Emissões atmosféricas associadas aos diferentes tipos de isolamento

4.4.1.6 Produção de resíduos

A unidade utilizada que permite relacionar a quantidade de resíduos produzidos durante o ciclo de vida dos diferentes materiais de isolamento é o quilograma por metro quadrado (kg/m^2).

Como se pode verificar no gráfico ilustrado na Figura 4.13, existe um grande equilíbrio entre as quantidades de resíduos produzidos durante o ciclo de vida dos diferentes materiais. O Calibel é, de entre os três materiais em questão, aquele que apresenta maior taxa de valorização de resíduos produzidos (4%), uma vez que uma boa parte dos refugos resultantes da produção da lã de vidro são reaproveitados.

Através da análise das DAP's referentes aos materiais em estudo e como está evidenciado no gráfico, percebe-se que a maior parte dos resíduos são posteriormente eliminados. Relativamente a este tipo de resíduos, a maior parte corresponde a resíduos não perigosos resultantes da etapa de fim de vida / deposição final do material que são eliminados em centros de armazenamento de resíduos finais. Estes locais são destinados a armazenar os resíduos finais que não podem ser objeto de valorização em condições tecnológicas e económicas ideais.

Apesar de representarem uma parcela inferior, também são eliminados outro tipo de resíduos como por exemplo resíduos perigosos, inertes e radioativos que resultam essencialmente de etapas a montante e a jusante do local de produção como a produção de eletricidade e a refinação do combustível para o transporte.

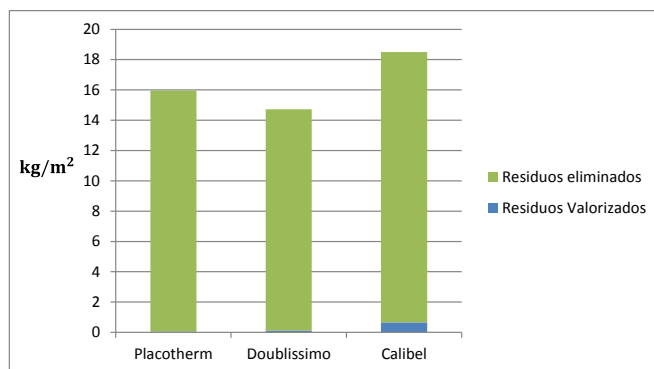


Figura 4.13 – Produção de resíduos associados ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.1.7 Potencial de aquecimento global

Os principais responsáveis pelo fenómeno do aquecimento global são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonetos (HFC's) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6). Neste indicador ambiental, a unidade utilizada na comparação dos valores obtidos para os diferentes tipos de isolamento é quilograma de dióxido de carbono equivalente por metro quadrado ($\text{kg eq.CO}_2/\text{m}^2$).

O Placotherm regista o impacte mais elevado com $14.07 \text{ kg eq.CO}_2/\text{m}^2$, seguidamente surge o Doublíssimo com $8.71 \text{ kg eq.CO}_2/\text{m}^2$ e por fim o Calibel com $7.65 \text{ kg eq.CO}_2/\text{m}^2$ (Figura 4.14).

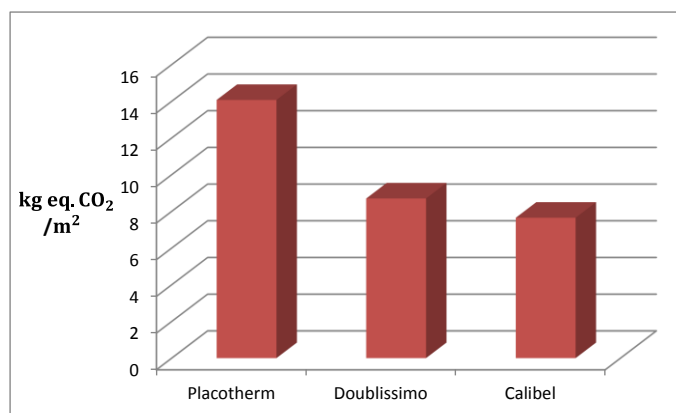


Figura 4.14 – Potencial de aquecimento global associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

Os valores obtidos para os materiais em estudo nesta categoria de impacte são justificados essencialmente pelas quantidades elevadas de dióxido de carbono e metano emitidas para atmosfera durante as etapas de produção e transporte. Como já foi verificado anteriormente, o Placotherm apresenta emissões de CO_2 e metano bastante superiores aos restantes isolamentos em estudo e portanto, é natural que também nesta categoria apresente níveis superiores de potencial de aquecimento global.

4.4.1.8 Potencial de acidificação

A principal causa da acidificação dos solos e das fontes de água resulta da presença de gases ricos em enxofre e azoto. A unidade considerada para esta categoria de impacto ambiental é o quilograma de dióxido de enxofre equivalente por metro quadrado ($\text{kg eq. SO}_2/\text{m}^2$).

Os valores obtidos para os diferentes tipos de isolamento são muito próximos, apresentando o Placotherm o valor mais alto, $0,06 \text{ kg eq. SO}_2/\text{m}^2$, logo a seguir o Calibel com $0,045 \text{ kg eq. SO}_2/\text{m}^2$ e por último surge o Doublíssimo, com $0,039 \text{ kg eq. SO}_2/\text{m}^2$ (Figura 4.15).

Essencialmente, os gases que contribuem para o agravamento deste fenómeno provêm da queima dos combustíveis fósseis. As etapas de produção e transporte dos materiais em análise assumem principal protagonismo no seio desta categoria de impacto, uma vez que é nestas fases que se verificam elevadas emissões de gases responsáveis pela formação de chuvas ácidas. O valor obtido para o Calibel neste indicador é justificado pela libertação de óxidos de azoto aquando a fusão da areia e do vidro em fornos, durante a etapa de produção da lâ de vidro.

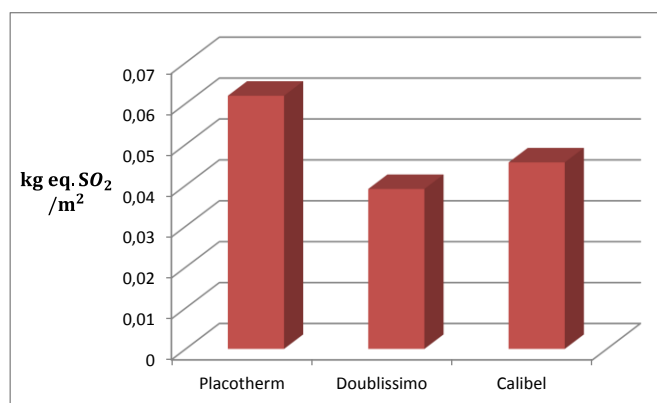


Figura 4.15 – Potencial de acidificação associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.1.9 Potencial de oxidação fotoquímica

Este fenómeno é originado pela reação de COV's e de óxidos de azoto na presença de radiação ultravioleta e resulta na formação de oxidantes fotoquímicos prejudiciais à saúde humana. Relativamente a este indicador ambiental, utilizou-se o quilograma de etileno equivalente por metro quadrado ($\text{kg eq. C}_2\text{H}_4/\text{m}^2$) como unidade. Tendo em conta as declarações ambientais dos respetivos isolamentos, o Doublíssimo é o material que apresenta o valor mais elevado ($0,032 \text{ kg eq. C}_2\text{H}_4/\text{m}^2$), seguindo-se o Placotherm com $0,0097 \text{ kg eq. C}_2\text{H}_4/\text{m}^2$ e por fim o Calibel com $0,0041 \text{ kg eq. C}_2\text{H}_4/\text{m}^2$ (Figura 4.16).

O elevado valor apresentado pelo Doublíssimo quando comparado com os restantes materiais, deve-se fundamentalmente às quantidades de hidrocarbonetos libertadas para a atmosfera nas

etapas de produção e transporte. A reação destes hidrocarbonetos com alguns dos gases presentes na atmosfera origina um acréscimo de compostos orgânicos poluentes na atmosfera.

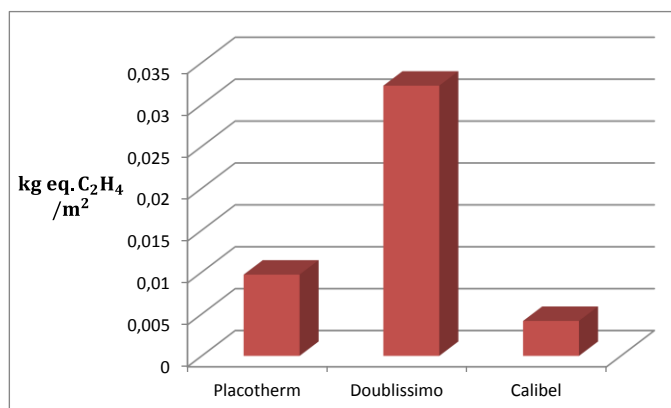


Figura 4.16 – Oxidação fotoquímica associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.1.10 Potencial de Eutrofização

A deposição de compostos ricos em azoto ou fósforo em ecossistemas aquáticos é essencialmente o principal fator impulsionador do fenómeno de eutrofização. A unidade considerada para este indicador ambiental é o grama de fosfato equivalente por metro quadrado (g eq. PO₄³⁻/m²).

O Placotherm representa o isolamento com o valor mais elevado de potencial de eutrofização com 5.78 g eq. PO₄³⁻/m² seguidamente aparece o Calibel com 0.39 g eq. PO₄³⁻/m² e relativamente ao Doublíssimo, a declaração ambiental correspondente não fornece nenhum dado relativo a esta categoria de impacte (Figura 4.17).

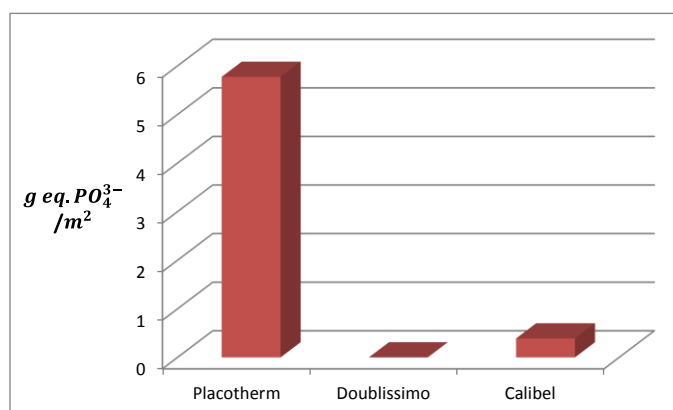


Figura 4.17 – Potencial de eutrofização associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

Como já foi referido, os compostos de azoto e de fósforo contribuem ativamente para o agravamento do fenómeno de eutrofização em massas de água. Desta maneira, e tendo por base as declarações ambientais dos produtos, verifica-se que as etapas de produção e transporte associadas ao ciclo de vida do Placotherm evidenciam emissões de compostos de azoto e de

fosfato para a água muito superiores ao Doublíssimo e ao Calibel, como se pode constatar pela Figura 4.18.

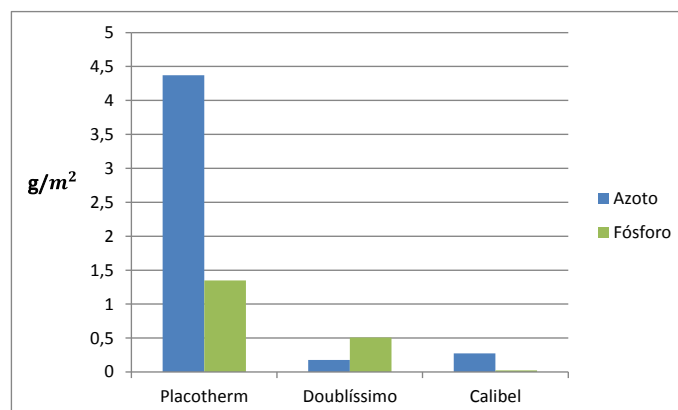


Figura 4.18 – Emissões para a água de compostos de azoto e de fósforo associadas ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.1.11 Síntese comparativa e discussão dos resultados

O caso de estudo apresentado baseou-se na análise de declarações ambientais relativas a três produtos diferentes (poliuretano, poliestireno expandido e lã de vidro), mas que desempenham a mesma função num edifício (isolar termicamente).

Os dados relativos às diversas categorias de impacte ambiental foram apresentados e comparados, tendo-se verificado que o desempenho ambiental de materiais/produtos que cumpram a mesma função num edifício pode ser bastante distinto, uma vez que este depende de uma série de fatores que estão associados ao ciclo de vida de cada material, tais como o processo de produção, meio de transporte, distância de transporte, reparação e manutenção, reutilização e reciclagem.

A análise da informação recolhida acerca do desempenho ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida para um período típico de vida de 50 anos, permite concluir que a fase de produção é a principal responsável pelos valores obtidos em todas as categorias de impacte. Essencialmente, os dados analisados permitem afirmar que o isolamento que inclui poliuretano (Placotherm), das seis categorias onde foram recolhidos os dados do inventário do ciclo de vida, regista os valores mais elevados em quatro delas (consumo de energia não renovável, consumo de recursos não energéticos, consumo de água, emissões para o ar). A Figura 4.19 pretende assim demonstrar de forma comparativa os resultados da análise dos dados do inventário do ciclo de vida dos diferentes materiais em estudo. De referir também, é o facto do isolamento de lã de vidro (calibel) apresentar o valor mais elevado de consumo de energia renovável, que pode representar um indicador positivo aquando a análise do desempenho ambiental de materiais,

pois poderá contribuir para uma redução da utilização de combustíveis fósseis e uma consequente diminuição de emissões de gases poluentes para a atmosfera.

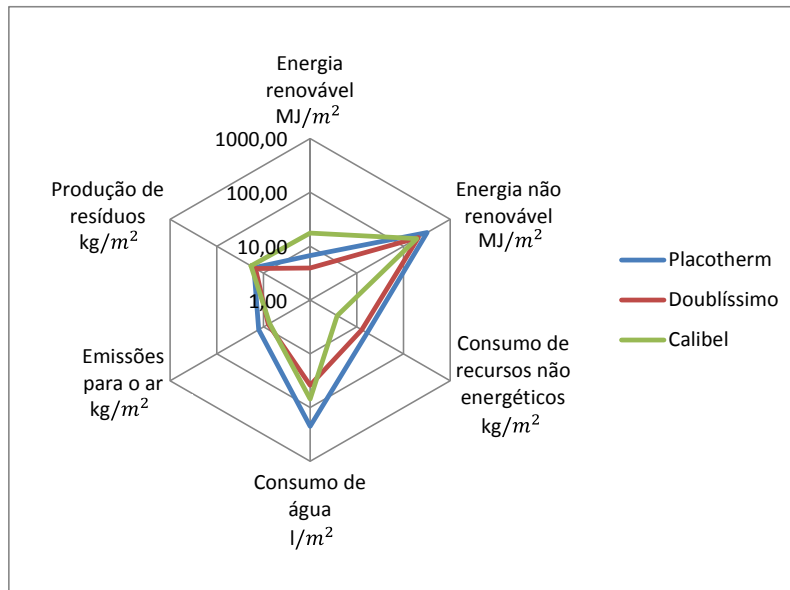


Figura 4.19 – Dados do inventário do ciclo de vida

Os resultados obtidos mostraram ainda que, no geral, o Placotherm (PUR) evidencia-se como o produto menos eficiente em termos de comportamento ambiental, uma vez que, olhando para os seus indicadores de avaliação de impacte do ciclo de vida percebe-se que este regista os valores mais elevados de potencial aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de oxidação fotoquímica e potencial de eutrofização, ou seja todos os indicadores de avaliação considerados (Figura 4.20).

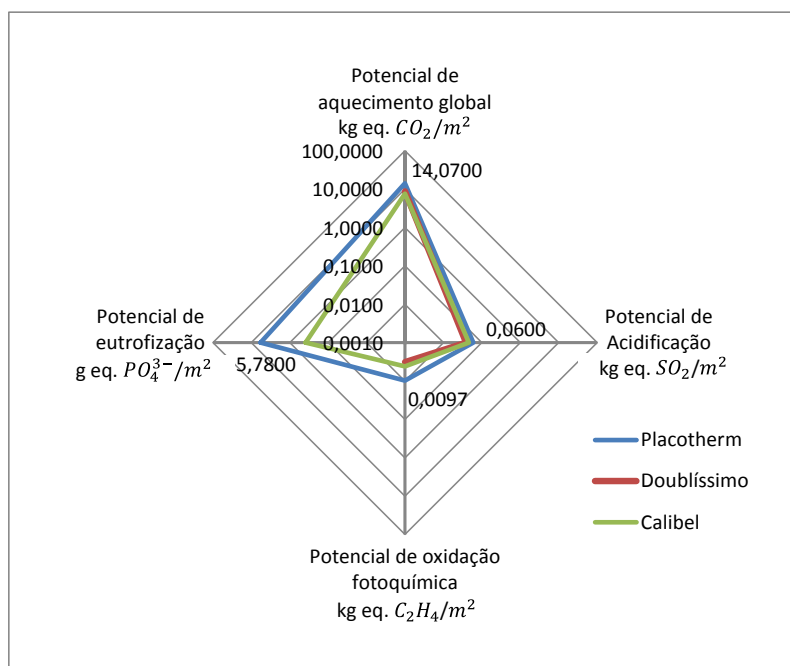


Figura 4.20 – Indicadores da avaliação de impacte do ciclo de vida

Estes resultados devem-se essencialmente, à utilização de combustíveis fósseis na etapa de produção e transporte dos produtos, uma vez que a elevada libertação de gases poluentes evidenciada no ciclo de vida do Placotherm contribui ativamente para o agravamento de diversos fenómenos prejudiciais ao meio ambiente.

Tendo em consideração que é na fase de produção que se encontram os maiores problemas relacionados com o impacto ambiental do produto, devem-se procurar soluções alternativas de modo a combater o elevado consumo de recursos energéticos não renováveis e as elevadas emissões de gases poluentes. Desta maneira, importa potenciar a proliferação do uso de energias renováveis em detrimento das não renováveis, por forma a limitar as emissões atmosféricas e os impactos ambientais que lhe estão subjacentes.

4.4.2 Isolamento térmico em coberturas

Tal como foi evidenciado para o caso de estudo anterior, também aqui importa conhecer as principais atividades contabilizadas durante o processo de avaliação do ciclo de vida dos isolamentos para coberturas (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 – Fluxos considerados no processo de avaliação do ciclo de vida dos isolamentos

Etapas do ciclo de vida	Métisse (Fibras têxteis recicladas)	Fibratec (EPS)	Biofib Duo (Fibras de linho e cânhamo)
Produção	-recolha, triagem e desfibração dos tecidos/roupas; -produção de matérias-primas que integram o isolamento; -produção do isolamento e sua embalagem, para a etapa de transporte;	-extração e transporte de matérias-primas; -consumo de energia;	-produção, extração e transporte das matérias-primas; -produção do isolamento;
Transporte	-produção e combustão do gasóleo utilizado para o transporte do material desde o local de produção até à obra;		
Aplicação em obra	-nenhum dado foi tomado em consideração nesta etapa;	-transporte e descarga das sobras resultantes da aplicação do material em obra;	-dados fornecidos pela empresa Cavac;

Vida em obra	-nenhum dado foi tomado em consideração nesta etapa;		
Deposição final	-transporte dos resíduos, da obra até ao local da sua deposição final; -aproveitamento ou eliminação dos resíduos;	-transporte dos resíduos, da obra até ao local da sua deposição final;	-transporte dos resíduos, da obra até ao local da sua deposição final;

Em seguida, com o intuito de sintetizar a informação recolhida nas DAP's acerca do desempenho ambiental dos diferentes tipos de isolamento para coberturas exibe-se a Tabela 4.8. A análise dos diversos dados do inventário do ciclo de vida, bem como dos principais indicadores da avaliação de impacte do ciclo de vida permite caracterizar de uma forma simples e esclarecedora os diferentes materiais de isolamento relativamente ao seu desempenho ambiental.

Tabela 4.8 – Dados do ICV e indicadores da AICV referentes aos três tipos de isolamento para coberturas tendo em conta o período tipo de vida do material (50 anos)

Categoria de impacte	Unidades / m²	Métisse (Fibras têxteis recicladas)	Fibratec (EPS)	Biofib Duo (Fibras de linho e cânhamo)
Energia renovável	MJ	1.72	36.40	52
Energia não renovável	MJ	91.90	438	99.8
Consumo de recursos não energéticos	kg	0.71	8.49	0.24
Consumo de água	l	15.30	53.40	31.1
Emissões para o ar	g	3342	17620	653
Produção de resíduos	kg	3.22	21.73	3.66
Potencial de aquecimento global	kg eq.CO ₂	3.64	18.1	3.05
Potencial de Acidificação	kg eq.SO ₂	0.015	0.114	0.0266

Potencial de oxidação fotoquímica	kg eq.C ₂ H ₄	0.00066	0.0803	0.0013
Potencial de eutrofização	g eq.PO ₄ ³⁻	N/D	0.297	30.9

4.4.2.1 Energia Renovável

Relativamente a este dado do inventário do ciclo de vida, a unidade utilizada é o megajoule por metro quadrado (MJ/m²).

De entre os materiais em estudo, o isolamento à base de fibras de linho e cânhamo (Biofib Duo) apresenta o valor mais representativo relativamente ao consumo de energia renovável, 52 MJ/m². Logo de seguida surge o painel de poliestireno expandido (Fibratec) com 36.40 MJ/m² e por fim, com um valor bastante reduzido aparece o isolamento à base de fibras têxteis recicladas (Métisse) com um consumo de energia renovável associado de 1.72 MJ/m² (Figura 4.21).

O valor elevado, associado ao consumo de energia renovável, patenteado pelo Biofib Duo deve-se fundamentalmente à energia de biomassa utilizada na produção deste material isolante, designadamente pela incorporação de fibras de cânhamo e de linho como matérias-primas. A integração de painéis solares como solução complementar de produção de eletricidade poderá estar na origem dos valores associados ao consumo de energia renovável evidenciado pelos restantes materiais.

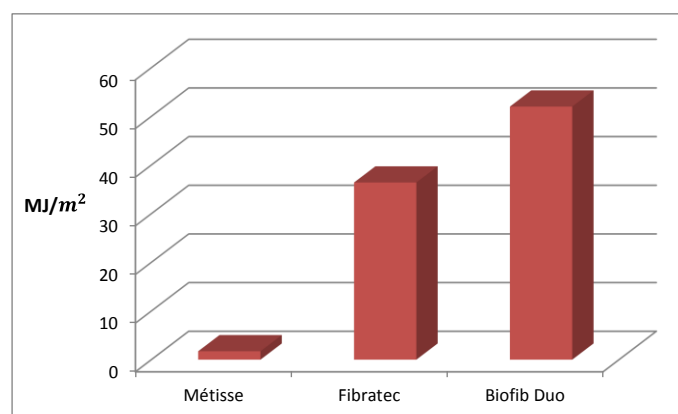


Figura 4.21 – Energia renovável associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.2 Energia não renovável

A unidade considerada para mostrar o consumo de energia não renovável dos materiais em análise é o megajoule por metro quadrado (MJ/m^2).

Como a Figura 4.22 elucida, o painel isolante Fibratec é claramente o maior consumidor de energia não renovável, apresentando um valor de $438 \text{ MJ}/\text{m}^2$, seguidamente aparece o Biofib Duo com $99.8 \text{ MJ}/\text{m}^2$ e por último com um valor muito próximo, surge a Métisse com $91.9 \text{ MJ}/\text{m}^2$.

No caso do Fibratec, os principais recursos energéticos consumidos são o gás natural e o petróleo, uma vez que as matérias-primas utilizadas na etapa de produção do poliestireno expandido que incorpora o painel sandwich resultam da refinação destes produtos. A fase de transporte, apesar de menos representativa também contribui para o elevado consumo de energia não renovável deste produto e está essencialmente ligada com a combustão de gásóleo. Relativamente aos restantes materiais em análise (Métisse e Biofib Duo), o fator determinante para os valores de energia não renovável evidenciados prende-se com a etapa de produção das fibras de poliéster que incorporam ambos os materiais isolantes.

Através da análise da declaração ambiental de produto relativa ao produto Métisse, percebe-se que o seu ciclo de vida é otimizado por forma a limitar o consumo de energético no decorrer da sua fabricação. Desde logo, 85% das fibras que constituem o isolante são fibras têxteis recicladas, o meio de transporte utilizado para as distâncias mais longas é o barco, que como já vimos anteriormente nesta dissertação é caracterizado por um baixo dispêndio de energia e ainda o facto do processo de triagem ser feito manualmente, que para além de minimizar os consumos de energia, ainda representa uma mais-valia social na medida em que permite a criação de emprego durante o processo de fabricação.

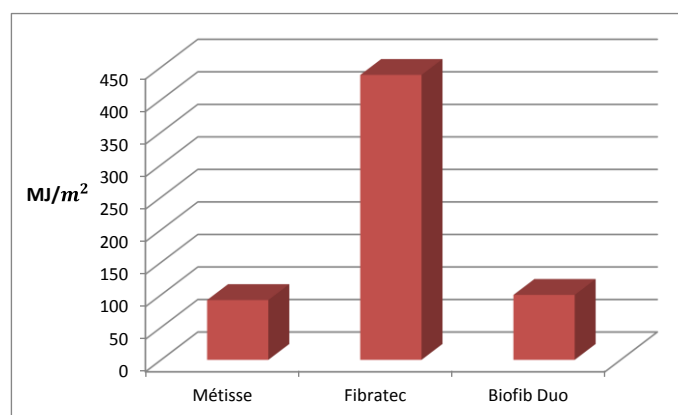


Figura 4.22 – Energia não renovável associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.3 Consumo de recursos não energéticos

Relativamente ao consumo de recursos não energéticos, a unidade utilizada é o quilograma por metro quadrado (kg/m^2).

O material mais consumidor de recursos não energéticos é inequivocamente o Fibratec, com $8.49 \text{ kg}/\text{m}^2$. Este facto está associado à utilização de gipsita na produção da placa de gesso cartonado que integra o painel isolante, sendo que este recurso representa cerca de 96% dos recursos naturais não energéticos consumidos. O consumo de recursos não energéticos evidenciado pela Métisse e pelo Biofib Duo é de $0.71 \text{ kg}/\text{m}^2$ e $0.24 \text{ kg}/\text{m}^2$ respetivamente (Figura 4.23).

De entre os recursos não energéticos consumidos pelos diferentes tipos de isolamento importa destacar o cascalho, que integra essencialmente a fase de produção do isolamento à base de fibras têxteis recicladas (Métisse) e representa cerca de 80% dos recursos não energéticos utilizados por este material.

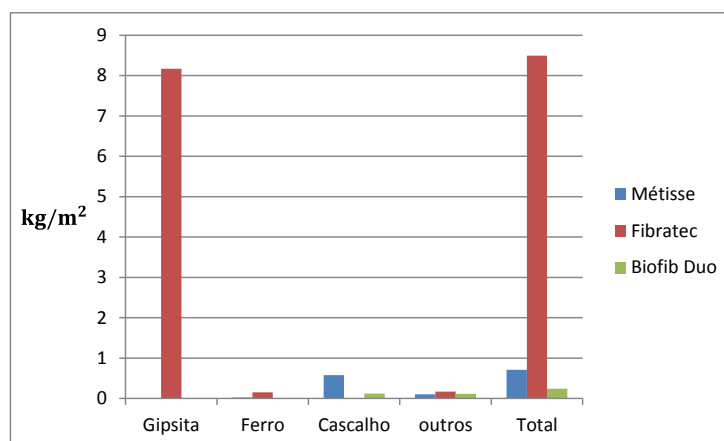


Figura 4.23 – Consumo de recursos naturais não energéticos associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.4 Consumo de água

A fim de comparar os consumos de água dos diferentes materiais em estudo durante o seu ciclo de vida utilizou-se como unidade, o litro por metro quadrado (l/m^2). Mais uma vez o painel isolante Fibratec destaca-se como o maior consumidor de água durante o seu ciclo de vida, $53.40 \text{ l}/\text{m}^2$. Seguindo-se o Biofib Duo com um consumo de $31.3 \text{ l}/\text{m}^2$ e a Métisse com $15.3 \text{ l}/\text{m}^2$ (Figura 4.24).

No que diz respeito ao Fibratec, a etapa de produção é responsável por mais de 90% do consumo de água, sendo este consumo repartido entre a fabricação da placa de gesso cartonado e a produção de poliestireno expandido. Relativamente à Métisse, é de salientar o esforço dos principais intervenientes na redução do consumo de água associado ao seu ciclo de vida, uma

vez que o processo de fabricação deste material não integra nenhuma fase de limpeza das fibras têxteis utilizando água.

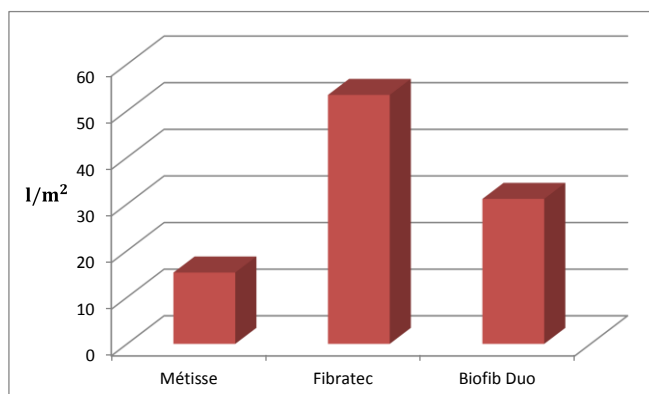


Figura 4.24 – Consumo de água associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.5 Emissões para o ar

Relativamente a esta categoria de impacte ambiental importa identificar os gases que mais contribuem para o agravamento do efeito de estufa e para a degradação da camada de ozono, bem como a outros fenómenos prejudiciais ao meio ambiente. A unidade de comparação utilizada para a análise das emissões para o ar associadas ao ciclo de vida dos materiais em questão é grama por metro quadrado (g/m^2).

Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 4.8, o painel de poliestireno expandido (Fibratec) apresenta o valor mais elevado de emissões para o ar, cerca de $17620 g/m^2$, em seguida surge o isolamento à base de fibras têxteis recicladas (Métisse) com cerca de $3342 g/m^2$ e por último o isolamento à base de fibras de linho e cânhamo (Biofib Duo) com cerca de $653 g/m^2$ de gases emitidos para a atmosfera durante o seu ciclo de vida (Figura 4.25).

A disparidade de valores obtida, deve-se fundamentalmente à queima de combustíveis fósseis necessária à produção de matérias-primas para o fabrico do poliestireno expandido que incorpora o painel isolante Fibratec.

Nos diferentes materiais em análise, o dióxido de carbono representa a substância mais significativa emitida para a atmosfera, cerca de 98% no Fibratec, 98% na Métisse e 80% no Biofib Duo. Relativamente ao Biofib Duo, salientar também a quantidade de Metano emitida que representa cerca de 14% das emissões.

Relativamente ao Fibratec, importa referir ainda que as quantidades de CO_2 emitidas têm uma responsabilidade repartida, 76%-etapa de produção e 23%-etapa de transporte. Nesta análise menciona-se também outros gases menos significativos emitidos como o metano que é utilizado como agente expensor no fabrico do poliestireno, e os óxidos de azoto que estão normalmente

associados à combustão do gásóleo utilizado no transporte (distribuição e deposição). No que diz respeito ao isolante Métisse, a maior parte das emissões de CO₂ são imputáveis ao transporte. As emissões de metano estão intimamente ligadas com a etapa de produção, mais especificamente com a introdução das fibras de poliéster nos processos de fabrico deste material. Os óxidos de enxofre e de azoto e o monóxido de carbono provêm essencialmente da etapa de produção, sendo que grande parte da percentagem de óxidos de azoto tem origem na combustão de gásóleo resultante da recolha das roupas necessárias à obtenção das fibras que incorporam este produto. As emissões para o ar associadas ao ciclo de vida do Biofib Duo, tanto de CO₂ como de metano, acontecem maioritariamente na etapa de fim de vida/deposição final, aquando a decomposição da matéria orgânica que constitui este material isolante por parte de microrganismos.

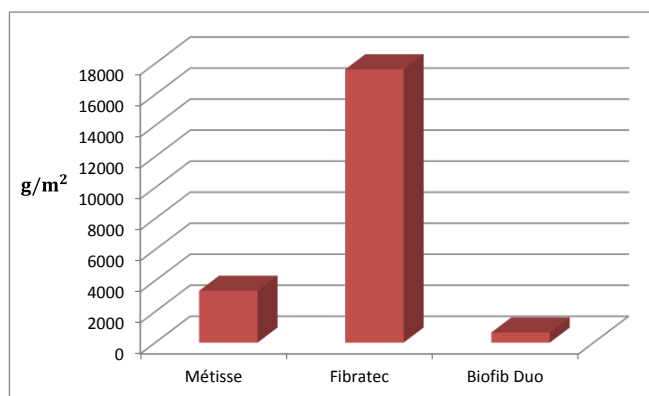


Figura 4.25 – Total de emissões atmosféricas associadas aos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.6 Produção de resíduos

A unidade utilizada que permite relacionar a quantidade de resíduos produzidos durante o ciclo de vida dos diferentes materiais de isolamento é o quilograma por metro quadrado (kg/m²).

O painel sandwich Fibratex é claramente o material com maior quantidade de resíduos eliminados e valorizados, 20.2 kg/m² e 1.53 kg/m² respetivamente (Figura 4.26). Cerca de 98.5% dos resíduos eliminados são resíduos não perigosos resultantes da etapa de fim de vida/deposição final. A valorização dos resíduos está diretamente relacionada com a reciclagem das sobras de gesso cartonado e com o reaproveitamento de sobras resultantes do corte dos painéis de poliestireno expandido.

Os resíduos eliminados representam cerca de 96% do total de resíduos associados ao ciclo de vida da Métisse (2.98 kg/m²) e são maioritariamente resíduos não perigosos que resultam essencialmente da etapa de deposição final. Já relativamente ao Biofib Duo, os resíduos eliminados são na sua maior parte classificados como resíduos inertes e provêm fundamentalmente das etapas de produção e de fim de vida.

Apesar de representarem uma parcela inferior, também são eliminados outro tipo de resíduos como por exemplo resíduos perigosos e radioativos que resultam essencialmente de etapas a montante e a jusante do local de produção como a produção de eletricidade e a refinação do combustível para o transporte.

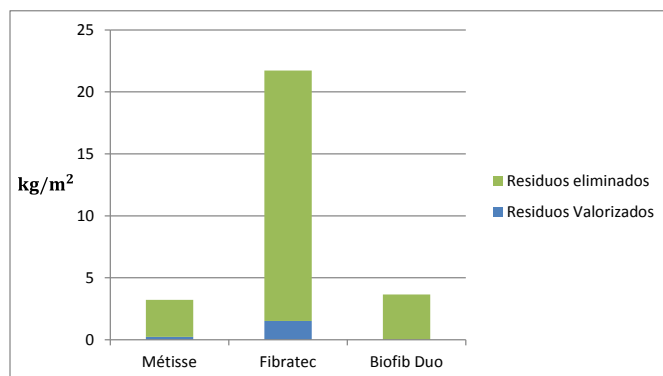


Figura 4.26 – Produção de resíduos associados ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.7 Potencial de aquecimento global

Neste indicador ambiental, a unidade utilizada na comparação dos valores obtidos para os diferentes tipos de isolamento é quilograma de dióxido de carbono equivalente por metro quadrado ($\text{kg eq.CO}_2/\text{m}^2$). O Fibratec apresenta o valor mais elevado para este indicador ambiental com $18.10 \text{ kg eq.CO}_2/\text{m}^2$, seguidamente surge a Métisse com $3.64 \text{ kg eq.CO}_2/\text{m}^2$ e por fim o Biofib Duo com $3.05 \text{ kg eq.CO}_2/\text{m}^2$ (Figura 4.27).

Os resultados obtidos para os materiais em análise neste indicador de impacto ambiental são justificados essencialmente pelas quantidades elevadas de dióxido de carbono e metano emitidas para atmosfera durante as etapas de produção e transporte, uma vez que estes gases são os principais responsáveis pelo agravamento do efeito de estufa. Como já foi verificado anteriormente, o Fibratec apresenta emissões de CO_2 incomparavelmente superiores aos restantes isolamentos em estudo, portanto é perfeitamente compreensível esta discrepância de valores no potencial de aquecimento global.

Apesar das quantidades de CO_2 emitidas no ciclo de vida representarem uma avassaladora preponderância no total de emissões (98% para o Fibratec e Métisse e 80% para o Biofib), importa também salientar uma presença bastante relevante de metano nas emissões dos diferentes materiais, em particular no isolamento à base de fibras de linho e cânhamo, onde este chega a representar cerca de 14%.

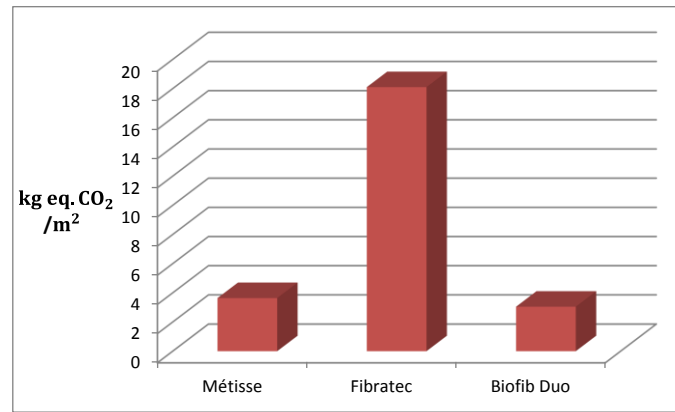


Figura 4.27 – Potencial de aquecimento global associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.8 Potencial de acidificação

A unidade considerada para este indicador ambiental é o quilograma de dióxido de enxofre equivalente por metro quadrado (kg eq. SO₂/m²). Este indicador permite novamente perceber uma grande diferença entre o painel Fibratex e os restantes materiais, apresentando este um valor na ordem dos 0.114 kg eq. SO₂/m² enquanto o Biofib Duo e a Métisse se situam nos 0.0266 kg eq. SO₂/m² e 0.015 kg eq. SO₂/m², respetivamente (Figura 4.28).

Os principais causadores deste fenómeno são os óxidos de azoto e de enxofre, que no caso do painel em poliestireno expandido apresentam no seu conjunto um valor de 143.3 g/m² nas emissões atmosféricas. Relativamente ao isolamento à base de fibras de linho e cânhamo e à base de fibras têxteis recicladas, os valores registados são de 26.3 g/m² e 18.14 g/m² respetivamente. A queima de combustíveis fósseis que se verifica na produção das matérias-primas do painel em poliestireno (Fibratex) é inequivocamente o elemento que desequilibra os resultados obtidos para este indicador, porém a etapa de transporte também representa uma parcela significativa das emissões de óxidos de azoto.

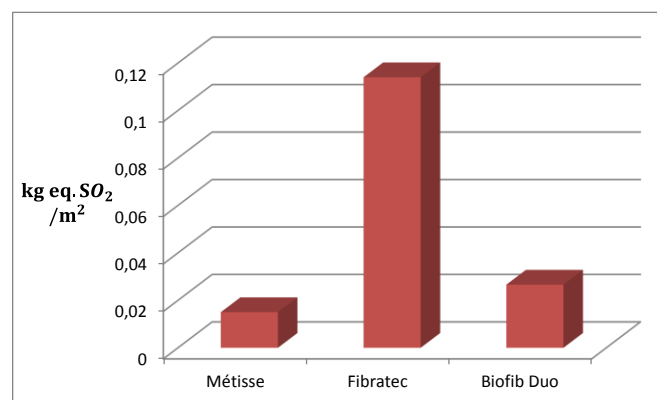


Figura 4.28 – Potencial de acidificação associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.9 Potencial de oxidação fotoquímica

Relativamente a este indicador ambiental, utilizou-se o quilograma de etileno equivalente por metro quadrado ($\text{kg eq. C}_2\text{H}_4/\text{m}^2$) como unidade. Analisando as DAP's dos respetivos materiais, o Fibratec é o material que apresenta o valor mais elevado ($0,0803 \text{ kg eq. C}_2\text{H}_4/\text{m}^2$), seguindo-se o Biofib Duo com $0,0013 \text{ kg eq. C}_2\text{H}_4/\text{m}^2$ e por fim a Métisse com $0,00066 \text{ kg eq. C}_2\text{H}_4/\text{m}^2$ (Figura 4.29).

Os óxidos de azoto e os hidrocarbonetos têm um papel preponderante para os resultados obtidos neste indicador. Por isso, o Fibratec surge novamente com valores desmesuradamente superiores aos demais materiais considerados, uma vez que a quantidade de NO_2 e de hidrocarbonetos emitidos para a atmosfera por este material é de 296.8 g/m^2 . Relativamente ao Biofib Duo e à Métisse, os valores descem para 18.5 g/m^2 e 12.95 g/m^2 , respetivamente.

Os resultados verificados advêm da etapa de transporte e principalmente da combustão fóssil que acontece na etapa de produção. Olhando para os valores associados ao painel Fibratec, pode afirmar-se que o processo de refinação do petróleo para obtenção do estireno que é utilizado para a produção de poliestireno expandido é o principal responsável pela emissão de óxidos de azoto.

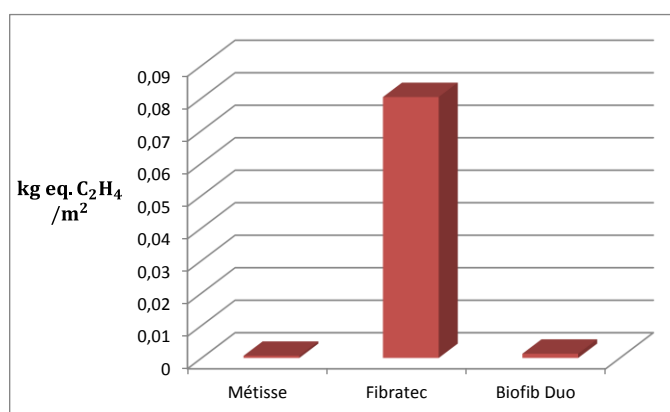


Figura 4.29 – Oxidação fotoquímica associada ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.10 Potencial de Eutrofização

A unidade considerada para este indicador ambiental é o grama de fosfato equivalente por metro quadrado ($\text{g eq. PO}_4^{3-}/\text{m}^2$).

O isolamento à base de fibras de linho e cânhamo (Biofib Duo) representa o material com o valor mais elevado de potencial de eutrofização com $30.9 \text{ g eq. PO}_4^{3-}/\text{m}^2$, seguidamente aparece o painel de poliestireno expandido (Fibratec) com $0.297 \text{ g eq. PO}_4^{3-}/\text{m}^2$ (Figura 4.30) e relativamente ao isolamento à base de fibras têxteis recicladas (Métisse), a declaração ambiental correspondente não fornece nenhum dado relativo a este indicador ambiental.

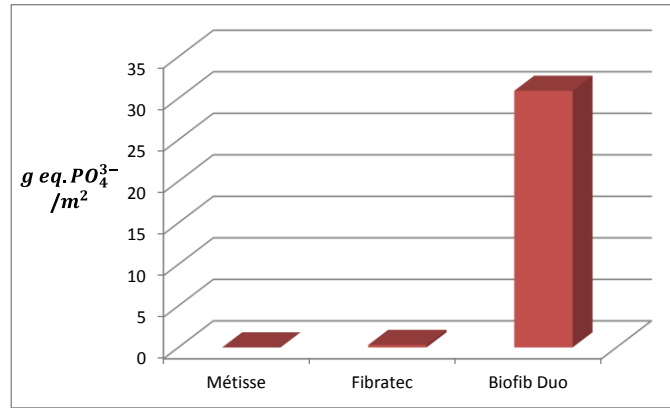


Figura 4.30 – Potencial de eutrofização associado ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

O fenómeno da eutrofização está, como já anteriormente foi referido, diretamente relacionado com o excesso de compostos de azoto e de fósforo nas massas de água que contribuem para um crescimento significativo da biomassa, podendo assim condicionar a subsistência dos ecossistemas. Neste contexto, tendo por base as informações presentes nas declarações ambientais dos produtos, pode constatar-se que as quantidades de compostos de azoto e fósforo associadas ao ciclo de vida do Biofib Duo são bastantes superiores aos demais materiais considerados e advêm essencialmente das etapas de produção e de fim de vida/deposição final (Figura 4.31).

Apesar de não existir nenhuma informação sobre o potencial de eutrofização do isolamento à base de fibras têxteis recicladas (Métisse), através da comparação das quantidades de compostos de azoto e fósforo emitidos para a água, é de esperar que este material apresente o valor mais baixo relativo ao indicador ambiental em análise.

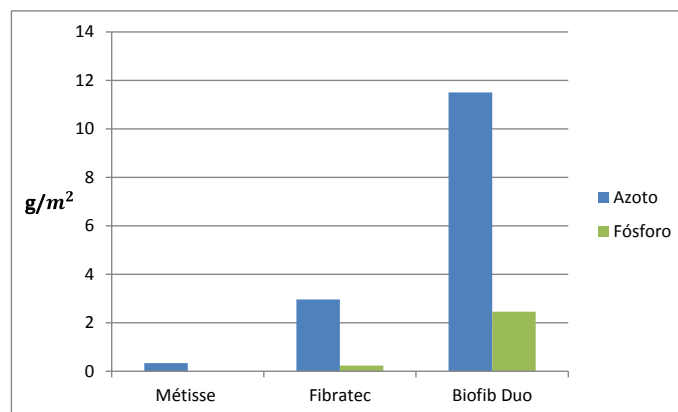


Figura 4.31 – Emissões para a água de compostos de azoto e de fósforo associadas ao ciclo de vida dos diferentes tipos de isolamento

4.4.2.11 Síntese comparativa e discussão dos resultados

Este segundo caso de estudo abordou três soluções construtivas de isolamento de coberturas. Através da consulta de DAP's referentes aos diferentes tipos de isolamento que incorporam as

soluções construtivas (fibras têxteis recicladas, poliestireno expandido e fibras de linho e cânhamo), procedeu-se à análise do desempenho ambiental dos diferentes materiais em questão.

Primeiramente importa referir que os resultados obtidos para os diferentes materiais em análise estão fundamentalmente relacionados com as diversas etapas que compõem o ciclo de vida (produção, transporte, colocação em obra, utilização e deposição final), para um período típico de vida de 50anos. Seguidamente, é necessário analisar as informações presentes nas DAP's, onde se verifica que o painel de isolamento em poliestireno expandido (Fibratec) apresenta valores superiores aos restantes materiais em cinco dos seis grupos de dados do inventário do ciclo de vida considerados (energia não renovável, consumo de recursos não energéticos, consumo de água, emissões para o ar e produção de resíduos), como se pode observar pela Figura 4.32. Relativamente ao consumo de energia renovável, o isolamento à base de fibras de linho e cânhamo apresenta um valor superior aos restantes isolamentos, essencialmente devido à grande incorporação de energia de biomassa no seu processo de produção.

Posto isto, importa identificar o principal responsável pelos resultados evidenciados pelo painel em poliestireno expandido. Neste sentido, a etapa de produção surge em primeiro plano, uma vez que representa a parcela mais significativa no consumo total de energia não renovável (cerca 88%), no consumo total de recursos não energéticos (cerca de 98%), no consumo total de água (cerca de 90%) e no total de emissões para o ar (cerca de 77%). Relativamente à produção de resíduos, a etapa de fim de vida/deposição final é a principal instigadora dos resultados obtidos, uma vez que representa cerca de 83% dos resíduos produzidos, sendo estes na sua maior parte classificados como não perigosos e que posteriormente são eliminados.

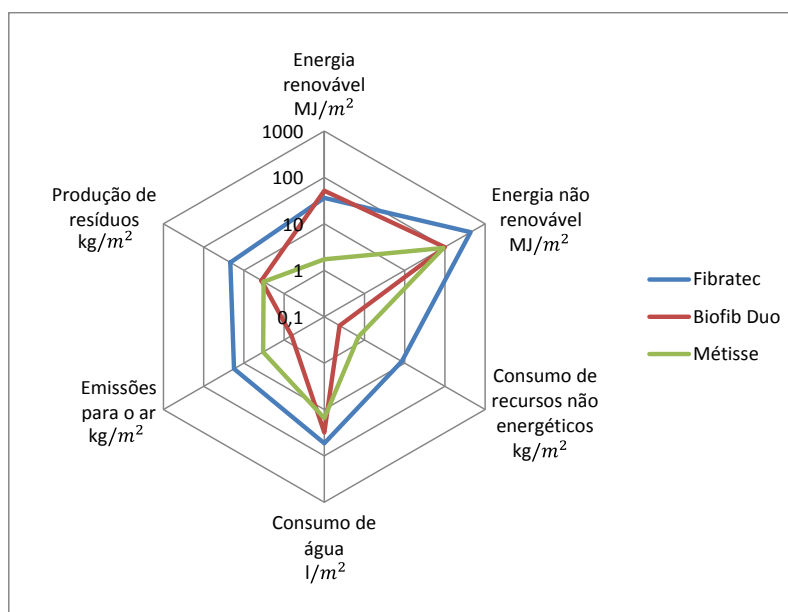


Figura 4.32 – Dados do inventário do ciclo de vida

Tendo agora em consideração os indicadores de avaliação de impacto de ciclo de vida pode-se afirmar que mais uma vez, o painel isolante em poliestireno expandido (Fibratec), de entre os três materiais em estudo, apresenta o pior desempenho ambiental. Neste contexto, a Figura 4.33 ilustra que o Fibratec apresenta valores mais elevados em três dos quatro indicadores analisados (Potencial de aquecimento global, Potencial de acidificação e Potencial de oxidação fotoquímica). No que diz respeito ao Potencial de eutrofização, o isolamento à base de fibras de linho e cânhamo (Biofib Duo) é claramente o material que evidencia o valor mais elevado. Este facto deve-se essencialmente, como já anteriormente foi referido, às elevadas quantidades de compostos de azoto e fosfato emitidas para a água nas etapas de produção e deposição final deste material.

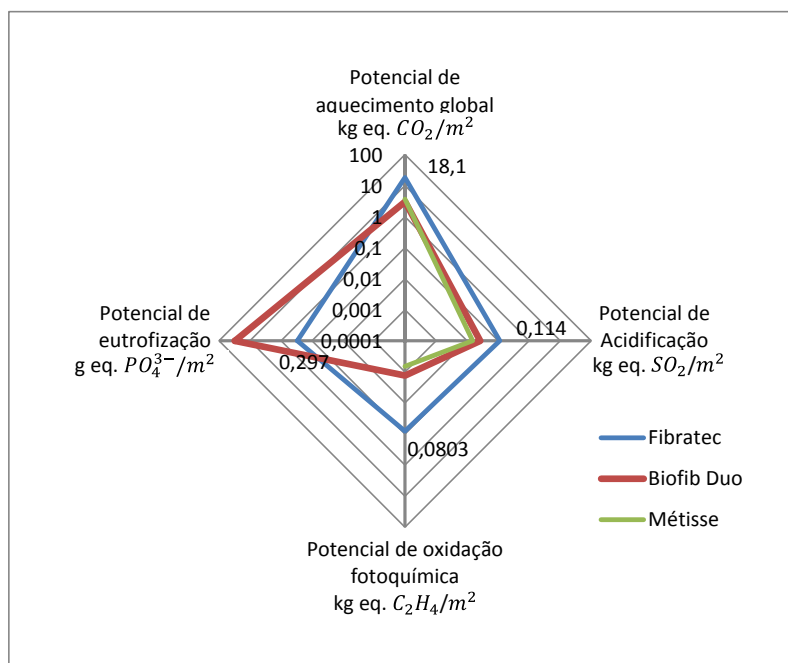


Figura 4.33 – Indicadores da avaliação de impacto do ciclo de vida

Relativamente ao desempenho evidenciado pelo painel em poliestireno expandido, importa salientar que o seu processo produtivo envolve a queima de combustíveis fósseis e a consequente libertação de gases poluentes. Portanto, quando comparado com os demais materiais em estudo, seria desde logo expectável um desempenho ambiental menos conseguido por parte deste material.

Tendo em conta os resultados evidenciados, consegue-se afirmar que os isolamentos à base de fibras têxteis recicladas e à base de fibras de linho e cânhamo representam uma alternativa ambientalmente mais favorável que o isolamento que incorpora poliestireno expandido e portanto este tipo de materiais devem cada vez mais integrar os sistemas construtivos que compõem os edifícios.

Capítulo 5

Considerações finais

Capítulo 5 Considerações finais

5.1 Conclusões

Este capítulo pretende representar um sumário dos assuntos mais relevantes que foram abordadas e desenvolvidos no decorrer desta dissertação.

Esta dissertação focou-se no estudo da importância dos materiais de construção para a obtenção de edifícios mais sustentáveis. Inicialmente, introduziu-se o conceito de desenvolvimento sustentável nas suas três vertentes (social, ambiental e económica) e de construção sustentável, apresentando uma evolução histórica nesse âmbito.

A discussão das problemáticas relacionadas com os impactes ambientais associados ao setor da construção contribuiu para o aparecimento dos princípios da construção sustentável que têm como finalidade incentivar e promover a poupança de água e energia, a gestão eficaz da produção de resíduos, a proteção do meio ambiente, entre outros.

O setor residencial apresenta-se como um dos maiores consumidores da energia produzida em todo o Mundo, o que conseqüentemente se traduz em elevadas emissões de gases poluentes para a atmosfera. Nesta ótica, deve-se consciencializar os utilizadores para a seleção de equipamentos de iluminação e eletrodomésticos mais eficientes, sistemas de climatização adequados e também fomentar a procura de soluções inovadoras e ambientalmente mais favoráveis para a produção de água quente sanitária, como por exemplo através de sistemas de painéis solares.

A reduzida quantidade de água potável existente no Mundo deve ser condição suficiente para efetivar uma gestão eficaz da utilização da água. Neste sentido, a seleção de aparelhos e dispositivos (torneiras, chuveiros, autoclismos) eficientes, de materiais que incorporem baixas quantidades de água durante o seu ciclo de vida e o consumo responsável de água por parte dos utilizadores destacam-se como os parâmetros chave para otimização do consumo de água em edifícios.

A sustentabilidade inerente a um edifício depende em grande escala dos materiais que o compõem, portanto é essencial que haja uma seleção criteriosa dos materiais a utilizar. Assim sendo deve-se dar primazia a materiais duráveis, não tóxicos, que estejam associados a baixas emissões de GEE e com elevado potencial de reutilização e reciclagem.

A elevada quantidade de resíduos produzidos pelo setor da construção deve servir de incentivo à sua reutilização e/ou reciclagem. Neste sentido, é importante a introdução de técnicas como a

desconstrução que potenciam a valorização e o reaproveitamento dos resíduos da construção, contribuindo assim para a mitigação dos impactes ambientais a estes associados.

A procura de edifícios cada vez mais sustentáveis impulsionou o surgimento de metodologias de avaliação de sustentabilidade, como o LEED, SBTTool, BREEAM e LíderA que permitem atestar sobre o nível de desempenho ambiental dos edifícios. A avaliação do ciclo de vida (ACV) constitui como uma ferramenta bastante útil e credível no seio da temática relacionada com a avaliação da sustentabilidade de materiais, uma vez que esta permite uma melhor compreensão acerca dos impactes ambientais resultantes do ciclo de vida dos produtos.

A rotulagem ambiental surge no âmbito do crescente interesse pelos impactes ambientais associados ao ciclo de vida dos produtos, com o intuito de instigar a seleção de materiais “mais amigos” do ambiente. Neste contexto, importa salientar as Declarações Ambientais de Produto (DAP's) que representam uma ferramenta importante na avaliação de impactes ambientais uma vez que a sua elaboração é baseada no método de ACV, tornando as descrições quantitativas acerca do desempenho ambiental de um determinado material ou produto mais fiáveis. As DAP's podem também constituir um instrumento de auxílio aos utilizadores na realização de comparações de resultados relativos ao desempenho ambiental entre produtos com funções semelhantes.

Relativamente ao primeiro caso de estudo, no qual foram apresentados os resultados dos impactes ambientais de três materiais diferentes de isolamento de paredes de fachada pelo interior, conclui-se que a etapa de produção constitui o fator mais influente no desempenho ambiental dos produtos, como tal importa analisar cuidadosamente essa etapa de modo a encontrar possíveis alternativas para a redução do consumo de combustíveis fósseis que teria como consequência a diminuição do consumo de recursos não renováveis, bem como de emissões de gases poluentes. Neste estudo de caso, percebeu-se ainda que o isolamento em poliuretano era claramente a opção ambientalmente menos favorável uma vez que registou os valores mais elevados em todos os indicadores da avaliação de impacto ambiental considerados.

A análise do segundo caso de estudo, referente ao desempenho ambiental de três sistemas de isolamento de coberturas, permite concluir que a emissão de gases poluentes originária na queima de combustíveis fósseis necessária à produção de poliestireno expandido está na génese do fraco desempenho ambiental evidenciado pelo Fibratex. Dada a irrefutabilidade dos resultados obtidos neste estudo de caso, pode-se afirmar que a escolha de isolamentos à base de materiais naturais e/ou reciclados deve ser considerada como linha de orientação a seguir na procura de edifícios mais sustentáveis.

5.2 Perspetivas futuras

Em Portugal, a implementação do conceito de sustentabilidade no setor da construção é ainda um processo recente que necessita de ser consolidado. Assim, importa perceber o rumo atual da construção em Portugal e compreender de que forma o paradigma da “Construção Sustentável” poderá contribuir para a qualidade de vida das gerações futuras. A informação e sensibilização da população para as vantagens inerentes aos princípios da construção sustentável devem constituir as principais linhas de orientação para a proliferação de edifícios mais sustentáveis.

Em países onde esta temática já assume uma preponderância palpável, a necessidade da procura de instrumentos que permitam aferir sobre a sustentabilidade de materiais ou edifícios é uma realidade. Neste sentido, a busca de materiais eco-eficientes assume particular importância para área da sustentabilidade na construção, sendo para isso necessárias ferramentas como a ACV que promovem a escolha de materiais que apresentam impactos ambientais mais reduzidos.

Nesta dissertação apresentou-se a análise do desempenho ambiental de materiais de isolamento para paredes exteriores e coberturas tendo por base as declarações ambientais dos respetivos produtos, podendo servir de base para futuras investigações nesta temática.

Numa investigação futura seria interessante estudar a possível incorporação das informações relativas ao desempenho ambiental de produtos presentes nas declarações ambientais em sistemas de avaliação de sustentabilidade como por exemplo o LiderA ou SBTool. Desta forma, pretende-se integrar as soluções estudadas em projetos que serão sujeitos à avaliação dos sistemas referidos e assim aproveitar as capacidades dos diferentes instrumentos de avaliação de sustentabilidade com o intuito de potenciar a proliferação de edifícios mais sustentáveis.

Em suma, espera-se que o trabalho efetuado seja um contributo para a consciencialização dos intervenientes da Construção na escolha de materiais que potenciem a sustentabilidade dos edifícios.

Referências bibliográficas

Referências bibliográficas

- [1] U. Nations, “Report of the World Commission on Environment and Development - Our Common Future.” 1987.
- [2] F. Pacheco-Torgal and S. Jalali, *A sustentabilidade dos materiais de construção*, 2nd ed. TecMinho, ISBN 978-972-8600-22-8, Portugal, 2010.
- [3] A. Ramos, “Os custos do desenvolvimento sustentável para a engenharia, arquitetura e construção nos processos de reabilitação.” Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009.
- [4] P. Christensen, “Historical roots of ecological economics: biophysical versus allocative approaches,” *Ecol. Econ.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–36, 1989.
- [5] J. Pezzey, “Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development.” Environmental Department Working Paper N^o. 15. Washington: The World Bank, 1989.
- [6] P. Pereira, “Construção sustentável: o desafio.” Monografia de licenciatura, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2009.
- [7] N. Research Council, “Our common journey - a transition toward sustainability.” Board on Sustainable Development, ISBN 0-309-51411-8, United States of America, p. 22, 1999.
- [8] G. Barbosa, “O desafio do desenvolvimento sustentável,” *Revista Visões 4^a Edição, N^o4, Volume 1*, vol. 1, no. 4, 2008.
- [9] R. Mateus, “Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção.” Tese de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2004.
- [10] J. Renato, “Sustentabilidade,” 2010. [Online]. Available: <http://www.jrrio.com.br/construcao-sustentavel/sustentabilidade.html>. [Accessed: 15-Sep-2013].
- [11] R. Mateus, “Avaliação da sustentabilidade da construção - Propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis.” Tese de Doutoramento, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2009.
- [12] C. Kibert, “Sustainable construction: green building design and delivery.” ISBN 0-471-66113-9, New Jersey, United States of América, 2005.
- [13] M. Landman, “Breaking through the barriers to sustainable building: Insights from building professionals on government initiatives to promote environmentally sound practices.” Thesis for the degree of Master of arts in Urban and Environmental Policy, Tufts University, 1999.
- [14] S. Lucas, “Critérios ambientais na utilização de materiais de construção.” Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro, p. 9, 2008.

- [15] L. Bragança, R. Mateus, and M. Gouveia, “Construção sustentável: o novo paradigma do setor da construção.” Universidade do Minho, 2011.
- [16] R. Mateus and L. Bragança, “Técnicas construtivas para a sustentabilidade da construção.” ISBN 978-989-95194-1-1, Porto: Edições Ecopy. Cap.2, 2006.
- [17] M. Pinheiro, “Ambiente e construção sustentável.” ISBN 972-8577-32-X, Instituto do Ambiente, Amadora, 2006.
- [18] OCDE, “Environmental sustainable buildings: Challenges and policies.” Organização para a Cooperação Económica e Desenvolvimento, Paris, 2003.
- [19] R. Comini, F. Clement, F. Puente, A. Orlandi, I. Oliveira, P. Lima, and D. Beirão, “Eficiência energética nos edifícios residenciais.” DECO-Manual do consumidor, Lisboa, 2008.
- [20] AIPEX, “Soluções de isolamento térmico com poliestireno extrudido (XPS) para uma construção sustentável.” Associação Ibérica de Poliestireno Extrudido, Numancia, 2011.
- [21] R. Eires, S. Jalali, and A. Camões, “Novos compósitos eco-eficientes para aplicações não estruturais na construção,” in *Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional 17 a 19 de Dezembro, Coimbra, Portugal*, 2007.
- [22] H. Oliveira, F. Torgal, and L. Bragança, “Alguns contributos da nanotecnologia para a sustentabilidade dos materiais de construção,” *Inovação na construção sustentável. CINCOs’12 - Congresso de Inovação na Construção Sustentável*, ISBN 978-989-95978-2-2, Portugal, p. 31, 2012.
- [23] F. Pacheco-Torgal, “O papel da nanotecnologia no contexto da eficiência energética do parque habitacional.” Universidade do Minho, Unidade de Investigação C-TAC, 2011.
- [24] N. Silva, “Incorporação de materiais de mudança de fase em materiais de construção.” Tese de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, pp. 46–49, 2009.
- [25] F. Jardim, “Proposta de intervenção de reabilitação energética de edifícios de habitação.” Tese de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2009.
- [26] A. Oliveira, “Avaliação da qualidade térmica de edifícios.” Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [27] “Calafetagem,” *Publications International*, 2006. [Online]. Available: <http://casa.hsw.uol.com.br/como-instalar-calafetacao1.htm>. [Accessed: 18-Oct-2013].
- [28] I. Tecnológica, “Janela inteligente regula luz e calor de forma independente,” 2013. [Online]. Available: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=janela-inteligente-regula-luz-calor-forma-independente#.U02FilcZqGw>. [Accessed: 20-Oct-2013].
- [29] “Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril. Diário da República nº67/2006 - I Série A.” Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Lisboa.

- [30] F. Bastos, “Análise da política de banimento de lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro.” Tese de Mestrado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- [31] ADENE, *Guia da eficiência energética*, 4th ed. Agência para a Energia, ISBN 978-972-8646-21-9, 2012.
- [32] R. Redin, “Taxa sobre Lâmpadas de Baixa Eficiência Energética,” *Eficiência Energética*, 2011. [Online]. Available: <http://www.xn--eficienciaenergetica-owbk.com/eficiencia-energetica/taxa-lampadas-baixa-eficiencia-energetica/>. [Accessed: 23-Oct-2013].
- [33] CECED, “A Nova Etiqueta Energética,” 2013. [Online]. Available: <http://www.newenergylabel.com/index.php/pt/home/>. [Accessed: 26-Oct-2013].
- [34] VULCANO, “Termoacumuladores elétricos,” 2010. [Online]. Available: http://vulcano-pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/cat_logo_de_produtos/termoacumuladores/vu_cat__termoac_electrico_2010_final.pdf. [Accessed: 30-Oct-2013].
- [35] A. Guerra, “Integração de painéis solares térmicos: Soluções de pós-construção.” Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- [36] P. Simões, “Instalação de painéis solares em todas as casas do Corvo avança para segunda fase,” *Açoriano Oriental*, 2013. [Online]. Available: <http://www.acorianooriental.pt/noticia/instalacao-de-paine-solares-em-todas-as-casas-do-corvo-avanca-para-segunda-fase>. [Accessed: 30-Oct-2013].
- [37] J. Costa, “As energia renováveis aliadas à construção sustentável.” Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 2008.
- [38] A. Ganhão, “Construção sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação.” Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa, 2011.
- [39] F. Bello, “Integração em edifícios de sistemas de micro-geração.” Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- [40] GEOPROLÍFERO, “Energia Geotérmica: Sistema de climatização,” 2009. [Online]. Available: http://www.geoprolifero.pt/documents/download/geoprolifero_geotermia.pdf. [Accessed: 05-Nov-2001].
- [41] ENAT, “Energia geotérmica,” 2010. [Online]. Available: <http://www.enat.pt/es/productos/energ%C3%ADa-geot%C3%A9rmica>. [Accessed: 07-Nov-2013].
- [42] ECOCASA, “Climatização - Sistemas de climatização,” 2013. [Online]. Available: http://ecocasa.pt/energia_content.php?id=12. [Accessed: 09-Nov-2013].
- [43] L. Barroso, “Construção sustentável: Soluções comparativas para o uso eficiente da água nos edifícios de habitação.” Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010.

- [44] M. Miranda, “Otimização do desempenho hídrico nas edificações,” *Inovação na construção sustentável*. CINCOS’12 - Congresso de Inovação na Construção Sustentável, ISBN 978-989-95978-2-2, Portugal, pp. 785–791, 2012.
- [45] B. Berge, *The ecology of building materials*, 2nd ed. Architectural Press, ISBN 978-1-85617-537-1, 2009.
- [46] CentroHabitat, “Construção e reabilitação sustentável,” *Parcerias para a Regeneração Urbana*, 2011. [Online]. Available: http://www.centrohabitat.net/sites/default/files/projetos-pdf/construcao_e_reabilitacao_sustentavel.pdf. [Accessed: 11-Nov-2001].
- [47] A. Silva-Afonso and C. Pimentel-Rodrigues, “Sustentabilidade no ciclo predial da água. Eficiência hídrica e limites de conforto,” *Inovação na construção sustentável*. CINCOS’12 - Congresso de Inovação na Construção Sustentável, ISBN 978-989-95978-2-2, Portugal, pp. 819–823, 2012.
- [48] DRACO, “Arejadores sustentáveis spray kitchen,” 2012. [Online]. Available: www.dracoeletronica.com.br/arejador-kitchen.htm. [Accessed: 13-Nov-2013].
- [49] ANQIP, “Especificações para a atribuição de rótulos de eficiência hídrica a autoclismos de bacias de retrete,” *Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais*, 2012. [Online]. Available: http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/2166/4/ETA_0804.3.pdf. [Accessed: 15-Nov-2013].
- [50] C. Rodrigues and K. Hinkkanen, “Guia de saneamento a seco,” *Dry Toilet Association of Finland - Câmara Municipal de Avis*, 2012. [Online]. Available: http://www.huussi.net/wp-content/uploads/2013/06/guide_portuguese.pdf. [Accessed: 15-Nov-2013].
- [51] ANQIP, “Sistemas de aproveitamento de água pluviais em edifícios,” *Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais*, 2012. [Online]. Available: http://www.anqip.pt/images/stories/ETA_0701_8.pdf. [Accessed: 15-Nov-2013].
- [52] F. Sacadura, “Análise de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios.” Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, p. 15, 2011.
- [53] M. Neves and A. Afonso, “Especificações técnicas para o aproveitamento da água das chuvas e das águas cinzentas nos edifícios.” ISBN 978-989-95557-4-7, Recurso Hídricos e Ambiente, 5^{as} Jornadas de Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [54] E. Bertolo, “Aproveitamento da água da chuva em edificações.” Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.
- [55] OLI, “Sistemas de aproveitamento de águas pluviais,” 2012. [Online]. Available: http://www.oliveirairmao.com/xFiles/scContentDeployer_pt/docs/Doc394.pdf. [Accessed: 17-Nov-2011].
- [56] ANQIP, “Sistemas prediais de reutilização e reciclagem de águas cinzentas,” *Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais*, 2011. [Online]. Available: http://www.anqip.pt/images/stories/ETA_0905.1.pdf. [Accessed: 15-Nov-2013].

- [57] D. Meadows, J. Randers, and W. Behrens, "The limits to growth." ISBN 0-87663-165-0, Universe Books, United States of America, 1972.
- [58] F. Pacheco-Torgal and S. Jalali, "Toxicity of building materials: a key issue in sustainable construction," *Int. J. Sustain. Eng.*, pp. 1–7, 2011.
- [59] J. Solis-Guzman, M. Marrero, M. Montes-Delgado, and A. Ramírez-de-Arellano, "A Spanish model for quantification and management of construction waste," *Waste Manag.*, vol. 29, no. 9, pp. 2542–2548, 2009.
- [60] C. Godinho, "Gestão integrada de resíduos de construção e demolição – Análise de Casos de estudo." Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.
- [61] "Decreto-Lei nº171/2006 de 5 de Setembro. Diário da República nº171/2006 - Série I." Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- [62] "Decreto-Lei nº 46/2008 de 12 de Março. Diário da República nº51/2008 - Série I." Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- [63] H. Monteiro, "Resíduos de construção e demolição." Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2012.
- [64] A. Couto, J. Couto, and J. Teixeira, "Desconstrução - Uma ferramenta para sustentabilidade da construção." NUTAU-Seminário brasileiro da gestão do processo de projeto na construção de edifícios, São Paulo, Brasil, 2006.
- [65] C. Kibert, "Deconstruction: the start of a sustainable materials strategy for the built environment." UNEP-Industry and Environment, Powell Center for Construction and Environment, University of Florida, 2003.
- [66] C. Fraga, "Guia para a gestão de resíduos de construção e demolição (RCD)em obras." LREC-Laboratório Regional de Engenharia Civil, Ponta Delgada, 2012.
- [67] N. Teodoro, "Contribuição para a sustentabilidade na construção civil: Reciclagem e reutilização de materiais." Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2011.
- [68] W. Castro, "Separação, reutilização e reciclagem de resíduos da demolição de edifícios." Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 2010.
- [69] F. Oliveira, "Avaliação da sustentabilidade da construção - Estudo de caso." Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 2010.
- [70] V. Leite, "Certificação ambiental na construção civil - Sistemas LEED e AQUA." Monografia de Graduação, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- [71] BREEAM, "The world's leading design and assessment method for sustainable buildings," 2013. [Online]. Available: www.breeam.org. [Accessed: 19-Nov-2013].
- [72] LiderA, "Sistema voluntário para a avaliação da construção sustentável," 2013. [Online]. Available: www.lidera.info. [Accessed: 20-Nov-2013].

- [73] SimaPro7, “ACV-Uma visão sistémica da sustentabilidade,” 2013. [Online]. Available: www.acvbrasil.com.br/simapro/. [Accessed: 25-Nov-2013].
- [74] M. Goedkoop, A. Schryver, M. Oele, S. Durksz, and D. Roest, “Introduction to LCA with SimaPro7.” Pré- Product ecology consultants, 2010.
- [75] J. Ferreira, “Análise de ciclo de vida dos produtos.” Gestão Ambiental, Instituto Politécnico de Viseu, 2004.
- [76] SETAC, “Society of environmental toxicology and chemistry – Guidelines for life – Cycle assessment: A code of practice.” Bruxelas, 1993.
- [77] ISO14040, “Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.” International Organization for Standardization, 2006.
- [78] ISO14044, “Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.” International Organization for Standardization, 2006.
- [79] D. Couto, “Declaração Ambiental de Produtos de Construção – (Estudo de Caso).” Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 2011.
- [80] P. Trindade, “Rotulagem ambiental,” *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, 2009. [Online]. Available: <http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/581/1/ROTULAMBIENTAITRINDI.pdf>. [Accessed: 30-Nov-2013].
- [81] D. A. R. Lopez, J. A. R. Moraes, M. F. Preussler, and M. Vaz, “Rotulagem ambiental – Um estudo sobre NR’s , 1st international workshop advances in cleaner production.” Universidade de Santa Cruz do Sul, São Paulo, 2003.
- [82] ISO14021, “Environmental labels and declarations – Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling).” International Organization for Standardization, 1999.
- [83] A. Wundervald, “Um estudo sobre a rotulagem ambiental de produtos.” Monografia para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, 2010.
- [84] ISO14025, “Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures.” International Organization for Standardization, 2006.
- [85] R. Manzini, G. Noci, M. Ostinelli, and E. Pizzurno, “Assessing environmental product declaration opportunities: A reference framework.” *Business Strategy and the Environment*, pp. 118–134, 2006.
- [86] ISO21930, “Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products.” International Organization for Standardization, 2007.
- [87] CentroHabitat, “Estudo do enquadramento normativo e dos programas de registo europeus de declarações ambientais de produto,” *Plataforma para a Construção Sustentável*, 2012. [Online]. Available: http://www.daphabitat.pt/pdf/estudo_enquadramento_normativo.pdf. [Accessed: 02-Dec-2013].

- [88] EN15804, “Sustainability of construction works — Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products.” European Committee of Standardization (CEN), 2012.
- [89] EN15942, “Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Communication format business-to-business.” European Committee of Standardization (CEN), 2011.
- [90] CAATEEB, “Reglas generales del sistema DAPc de declaraciones ambientales de producto en el sector de la construcción,” *Collegi d’Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers de l’Edificació de Barcelona*, 2010. [Online]. Available: <http://www.eic.cat/wps/wcm/connect/e3fbec0041e08855ac0ebc87b4912fc9/REGLAS+GENERALES+DEL+SISTEMA+DAPc.pdf?MOD=AJPERES>. [Accessed: 04-Dec-2013].
- [91] M. Rocha, “Uso da análise do ciclo de vida para a comparação do desempenho ambiental de quatro alternativas para tratamento da vinhaça.” Tese de Mestrado, Instituto de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Itajubá, pp. 90–102, 2009.
- [92] T. Ferreira, “Sobre a utilização do sistema de isolamento térmico pelo interior em edifícios residenciais em Portugal: Análise do desempenho higrotérmico.” Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pp. 8–9, 2006.

Anexos

Anexos

Os dados recolhidos através das declarações ambientais de produto têm como referência a DAP Francesa que se encontra disponibilizada em www.inies.fr e as características ambientais presentes nos documentos estão definidas conforme as exigências da norma NF P 01-010.

De forma a aceder às diversas DAP's analisadas é necessário realizar ao seguinte processo:

1. Aceder a www.inies.fr;
2. “Espace de consultation”;
3. “Catalogue de la base”;
4. “FDES par famille de produits – Isolation”;
5. “FDES par organisme déclarant”:

-**Placoplatre**: Declaration Environnementale Sanitaire, complexe de doublage
“PLACOTHERM 13+80”, 05/2011

-**Placoplatre**: Declaration Environnementale Sanitaire, complexe de doublage
“DOUBLÍSSIMO CONFORT 13+80”, 09/2012

-**Saint-Gobain Isover**: Declaration Environnementale Sanitaire, “CALIBEL
10+80”, 04/2009

-**EBS Le Relais Nord Pas de Calais**: Declaration Environnementale Sanitaire
“MÉTISSE M 100mm”, 12/2012

-**Knauf**: Declaration Environnementale Sanitaire, panneau de toiture
“FIBRATEC ULTRA PLÂTRE 0.19”, 01/2012

-**Cavac Biomateriaux**: Declaration Environnementale Sanitaire “ISOLANT
BIOFIB DUO”, 12/2010