

# **OPTIMIZAÇÃO DE MÉTODOS DE ESCOLHA DE MATERIAIS COM BASE NO DESEMPENHO SUSTENTÁVEL**

**FILIPA ALEXANDRA FAUSTINO DE SOUSA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JUNHO DE 2010

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Dedico este trabalho aos meus pais, Fátima e Manuel, ao meu irmão Ricardo e ao meu namorado, André.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao orientador desta dissertação, Professor Alfredo Soeiro pela disponibilidade e orientação baseada em confiança e liberdade, estimulando a criatividade e a autonomia.

À Eng.<sup>a</sup> Lúcia Isabel Ribeiro pela simpatia e disponibilidade de documentos úteis para o desenvolvimento deste trabalho.

À Eng.<sup>a</sup> Sandra de Oliveira Lucas, da Universidade de Aveiro pelo esclarecimento de dúvidas e ajuda prestada.

À minha família por todo o incentivo, confiança e apoio ao longo destes anos, contribuindo para o meu sucesso em cada obstáculo encontrado.

Ao meu namorado pelo amor, apoio, paciência e compreensão nas fases mais difíceis.



## **RESUMO**

O célere desenvolvimento no sector da construção ao longo dos últimos anos tem provocado impactos ambientais devastadores, alguns deles irreversíveis, afectando as sociedades do presente e pondo em risco o futuro próximo. Seja por urgência ou por moda, a sustentabilidade na indústria da construção tornou-se o desafio do século XXI, alterando formas de pensar e agir, evitando o limite dos recursos naturais. Sendo o sector da construção responsável por uma grande parte dos impactos ambientais actuais, como consequência das actividades de construção, utilização e manutenção dos edifícios, a selecção dos materiais de construção traduz-se numa difícil tarefa, gerando controvérsia na questão do que é ambientalmente preferível.

Este trabalho debruça-se sobre a panorâmica geral do que é a sustentabilidade, incidindo no desenvolvimento sustentável do sector da construção, nomeadamente no que diz respeito aos materiais a serem empregues. Com a actual preocupação em torno dos impactos ambientais dos empreendimentos e a construção de edifícios mais sustentáveis, abordaram-se algumas das principais ferramentas de avaliação e reconhecimento da sustentabilidade, analisando também sistemas de avaliação do ciclo de vida dos materiais. Com a definição de critérios ambientais e ecológicos relevantes para o desempenho sustentável dos materiais de construção e utilizando-se por base a ferramenta de avaliação da sustentabilidade nacional, LiderA, desenvolveu-se um método simples que permite a comparação e selecção dos materiais de construção. Com a metodologia desenvolvida aplicada a um estudo de caso, no que diz respeito a quatro materiais de isolamento térmico para fachadas, atendendo às propriedades dos materiais em estudo, obtiveram-se pontuações que beneficiam a aplicação de materiais naturais quando comparados com os materiais usados habitualmente nestas soluções (materiais sintéticos). Dadas as virtudes do uso dos materiais naturais nos isolamentos térmicos de fachadas, propuseram-se alguns materiais ecológicos alternativos, aos quais também se aplicaram a metodologia de modo a apurar quais os materiais mais benéficos para a sustentabilidade.

Com este trabalho foi possível desenvolver um método de selecção e comparação de materiais através da optimização dos critérios utilizados na ferramenta de avaliação da sustentabilidade já existente, LiderA, sendo proveitoso na decisão de escolha de materiais com base no desempenho sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desempenho Sustentável, Construção Sustentável, Materiais de Construção, Impactos Ambientais, Materiais Naturais.



## **ABSTRACT**

The fast development in construction over the past years has caused devastating environmental impacts, some irreversible, affecting present societies and endangering the future. Either by emergency or fashion, sustainability in the construction industry has become the challenge of the century, changing ways of thinking and acting, avoiding the limits of natural resources. As the construction sector accounts for a large part of the current environmental impacts as a result of construction activities, use and maintenance of buildings, the selection of building materials results in a difficult task, generating controversy on the question of what is environmentally preferable.

This work focuses on the overall picture of what is sustainability, focusing on sustainable development in the construction industry, particularly as regards the materials to be used. With the current concern about the environmental impacts of projects and more sustainable buildings, there were boarded up some of the main tools for assessment and recognition of sustainability assessment systems by examining the life cycle of materials. With the definition of environmental and ecological criteria relevant to the sustainable performance of construction materials and using a basis of a national assessment tool for sustainable, known as LiderA, has developed a simple method that allows comparison and selection of construction materials. With the methodology applied to a case study regarding the four thermal insulating materials for facades, given the properties of materials under study were obtained scores that benefit the application of natural materials when compared with commonly used materials these solutions (synthetic material). Due to the virtues of using natural materials in thermal insulation of facades, some alternative environmentally friendly materials were set out, which also applied the methodology in order to determine which materials are more beneficial for sustainability.

With this document was possible to develop a method of selection and comparison of materials by optimizing the criteria used in the assessment tool of sustainability existing LiderA, being helpful in the decision to select materials based on sustainable performance.

**KEYWORDS:** Sustainable Performance, Sustainable Building, Building Materials, Environmental Impacts, Natural Materials.



## Índice Geral

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO</b> .....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Objectivos .....	1
1.3. Enquadramento Geral .....	1
1.4. Estrutura do trabalho .....	3
1.5. Dificuldades encontradas .....	3
<b>2. O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</b> .....	5
2.1. O conceito de sustentabilidade .....	5
2.2. A sustentabilidade na construção .....	8
2.2.1. Enquadramento .....	8
2.2.2. Energias Renováveis .....	10
2.2.3. Materiais de Construção .....	12
2.3. Impacte ambiental e ecológico dos edifícios .....	15
2.3.1. Panorâmica geral .....	15
<b>3. CRITÉRIOS RELEVANTES PARA A ESCOLHA DOS MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL</b> .....	21
3.1. Enquadramento .....	21
3.2. Principais critérios para a selecção de materiais .....	24
<b>4. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO E SELECÇÃO DE MATERIAIS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL</b> .....	31
4.1. Técnicas de Gestão Ambiental .....	32
4.1.1. Análise do ciclo de vida (ACV) .....	32
4.1.2. Avaliação dos impactos ambientais na construção (aia) .....	34
4.2. Principais sistemas e ferramentas de classificação e avaliação da construção sustentável .....	35
4.2.1. BREEAM .....	36

4.2.2. SBTool .....	37
4.2.3. LEED .....	39
4.2.4. LiderA 2.0 .....	41
<b>4.3. Principais sistemas e ferramentas de análise do ciclo de vida .....</b>	<b>43</b>
4.3.1. BEES versão 4.0 .....	43
4.3.2. SimaPro7 .....	44
4.3.3. ECO-QUANTUM.....	45
4.3.4. ATHENA .....	46
<b>4.4. Comparação entre os sistemas de avaliação analisados.....</b>	<b>46</b>
4.4.1. Sistemas de avaliação e reconhecimento de edifícios.....	46
4.4.2. Sistemas de análise do ciclo de vida.....	48
<b>5.APLICAÇÃO NUM CASO DE ESTUDO: PARQUE ESCOLAR DE BRAGA.....</b>	<b>51</b>
<b>5.1. Análise dos materiais para isolamento térmico a aplicar em obra.....</b>	<b>51</b>
5.1.1. Classificação das soluções de isolamento térmico de paredes exteriores .....	51
5.1.2. Isolamento térmico pelo exterior (sistema ETICS).....	52
<b>5.2. Materiais para isolamento térmico.....</b>	<b>53</b>
5.2.1. Poliestireno expandido (EPS).....	54
5.2.2. Poliestireno extrudido (XPS) .....	55
5.2.3. Lã de Rocha .....	55
5.2.4. Aglomerado de Cortiça Expandida.....	56
<b>5.3. Desempenho dos materiais de isolamento considerados no estudo de caso .....</b>	<b>57</b>
5.3.1. Em termos térmicos.....	57
5.3.2. Em termos ambientais.....	58
5.3.3. Em termos económicos .....	60
<b>6.MÉTODO EXPEDITO PARA AVALIAÇÃO E SELECÇÃO DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO .....</b>	<b>63</b>
<b>6.1. Materiais de isolamento térmico alternativos .....</b>	<b>67</b>
6.1.1. Fibras de Cânhamo industrial.....	67
6.1.2. Isolamento de Celulose .....	68
6.1.3. Lã de Ovelha .....	69
6.1.4. Isolamento de Linho .....	69
6.1.5. Fibras de madeira.....	70

<b>6.2. Comparação do desempenho térmico e ambiental dos materiais alternativos .....</b>	<b>71</b>
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>77</b>
<b>7.1. Desenvolvimentos Futuros.....</b>	<b>78</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1- Dependência energética verificada no ano 2007 [fonte: Eurostat]	2
Fig. 2- Dimensões da sustentabilidade (World Business Council for Sustainable Development)	5
Fig. 3- Pilares do desenvolvimento sustentável [ENDS]	7
Fig. 4- As três dimensões da sustentabilidade: económico, social e ambiental	8
Fig. 5- Valor Bruto de Produção do sector da construção [fonte: FEPICOP]	9
Fig. 6- Estratégias para o desenvolvimento sustentável [fonte: WCSD Portugal]	10
Fig. 7- Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh) [fonte: DGEG]	11
Fig. 8- Energias Renováveis	12
Fig. 9- Critérios de selecção de materiais de construção	13
Fig. 10- Benefícios dos edifícios sustentáveis a nível dos materiais e recursos [adaptado de Kibert, 2008]	14
Fig. 11- Evolução das preocupações no sector da construção civil [5]	15
Fig. 12- Sustentabilidade nos edifícios	16
Fig. 13- Edifícios concluídos em 2008, por Tipo de Obra	17
Fig. 14- Exemplo de estratégias de sustentabilidade na construção de edifícios	19
Fig. 15- Energia incorporada em alguns materiais de construção [13]	25
Fig.16- Carbono incorporado em alguns materiais de construção	29
Fig. 17- Modelo genérico de uma ferramenta de suporte à concepção de edifícios sustentáveis [adaptado Bragança et al, 2006]	32
Fig. 18- Fases da metodologia da ACV	33
Fig. 19- Níveis de avaliação de impactos num edifício [adaptado de Lucas, 2008]	35
Fig. 20- Ponderação das categorias no EcoHomes	37
Fig. 21- Estrutura do Sistema SBTTool <sup>pt</sup> [fonte: iiSBE Portugal]	38
Fig. 22- Escala de desempenho do SBTTool <sup>pt</sup> [23]	39
Fig. 23- Ponderação das vertentes [fonte: www.lidera.info]	42
Fig. 24- Níveis de desempenho do sistema LiderA v2.0	42
Fig. 25- Fachada com sistema ETICS	52
Fig. 26- Potencial poupança de CO <sub>2</sub> dos isolamentos térmicos em comparação com outras medidas de eficiência na construção	53
Fig. 27- Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) dos materiais em estudo	58
Fig. 28- Energia incorporada na produção de 1 kg dos materiais em análise	59
Fig. 29- Carbono Incorporado por kg de material em estudo	59

Fig. 30- Somatório das emissões para o ar, água e solo	60
Fig. 31- Custo inicial por m <sup>2</sup> dos materiais em estudo	60
Fig. 32- Análise comparativa das pontuações e percentagens obtidas para cada material	66
Fig. 33- Matérias-primas do Cânhamo para construção e isolamentos	68
Fig. 34- Amostra de isolamento de celulose	68
Fig. 35- Esquema ilustrativo do ciclo de vida da lã de ovelha	69
Fig. 36- Isolamento de linho	70
Fig. 37-Lã de madeira	71
Fig. 38- Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) dos materiais alternativos em estudo	71
Fig. 39- Energia incorporada nos materiais alternativos	72
Fig. 40- Somatório das emissões para o ar, água e solo dos materiais alternativos	72
Fig. 41- Análise comparativa das pontuações e percentagens obtidas para os materiais alternativos	75
Fig. 42- Custo inicial por m <sup>2</sup> dos materiais alternativos em análise	75
Fig. 43- Sequência ambiental dos materiais de isolamento referidos	76
Fig. 44- Sequência económica dos materiais de isolamento referidos	76

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Exemplos de substâncias tóxicas e suas consequências nos utilizadores [19]	28
Quadro 2- Pontos propostos para as diferentes categorias na nova versão LEED 2009 [25]	41
Quadro 3- Critérios da ferramenta BEES [28]	44
Quadro 4- Critérios de avaliação da ferramenta Simapro7	45
Quadro 5- Critérios de avaliação do sistema Eco-Quantum	46
Quadro 6- Critérios de avaliação do software ATHENA	46
Quadro 7- Principais critérios de avaliação e reconhecimento da sustentabilidade de edifícios	47
Quadro 8- Comparação entre os principais objectivos dos sistemas de análise do ciclo de vida analisados	48
Quadro 9- Parâmetros aplicáveis á metodologia MARS-SC [19]	49
Quadro 10- Propriedades do EPS 30 kg/m <sup>3</sup>	54
Quadro 11- Propriedades do XPS 30 kg/m <sup>3</sup>	55
Quadro 12- Propriedades do isolante térmico Lã de Rocha [9]	56
Quadro 13- Características médias do aglomerado expandido de cortiça [35]	57
Quadro 14- Tabela resumo de algumas características dos materiais em estudo [12]; [15]	62
Quadro 15- Critérios ambientais relevantes (abordados no cap.4)	63
Quadro 16- Correspondência entre as vertentes do sistema LiderA e os critérios definidos	64
Quadro 17- Pontuação final da avaliação do aglomerado de cortiça	64
Quadro 18- Pontuação final da avaliação do poliestireno extrudido	65
Quadro 19- Pontuação final da avaliação do poliestireno expandido	65
Quadro 20- Pontuação final da avaliação da lã de rocha	66
Quadro 21- Pontuação final da avaliação do isolamento de celulose	73
Quadro 22- Pontuação final da avaliação do isolamento de fibras de madeira	74
Quadro 23- Pontuação final da avaliação do isolamento de lã de ovelha	74







# 1

## APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

### 1.1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação enquadra-se no contexto do desenvolvimento sustentável na construção a nível nacional.

A análise da sustentabilidade foca-se no estudo geral de alguns sistemas de reconhecimento ambiental mais divulgados e ferramentas de avaliação do ciclo de vida dos materiais de construção, assim como, na optimização de métodos de selecção de materiais atendendo ao seu desempenho sustentável, dado não existirem ferramentas apenas com esse objectivo.

### 1.2. OBJECTIVOS

É objectivo desta dissertação dar um contributo para a escolha de materiais com vista a uma construção mais sustentável, através da identificação de critérios ambientais que permitem mensurar a sustentabilidade com o desenvolvimento de um método rápido e aperfeiçoado aplicado aos materiais utilizados num caso de estudo, bem como a materiais ditos alternativos.

Consideram-se como principais objectivos:

- Identificação de um conjunto de critérios críticos, ambientais e ecológicos, ou outros identificados como relevantes no conceito da construção sustentável;
- Validação dos critérios seleccionados, enquanto “ferramentas” para monitorização e medição da sustentabilidade dos materiais;
- Para os materiais da obra seleccionada, sistematizar propostas de materiais alternativos, viáveis sob o ponto de vista técnico/construtivo, e caracterizá-los com a aplicação dos critérios pré-definidos;
- Desenvolvimento de um método expedito para a selecção de materiais de construção tendo por base critérios preponderantes quanto ao seu desempenho sustentável.

### 1.3. ENQUADRAMENTO GERAL

Desde os tempos remotos que o Homem transforma a natureza para seu próprio benefício, dela retira recursos para a sua sobrevivência e rejeita aquilo que já não lhe interessa. Desta relação egoísta resultam alguns sinais de desequilíbrio ambiental, tais como o aquecimento global, afectação de espécies naturais, poluição e alteração do uso dos solos e do ar e contaminação de recursos hídricos.

O respeito pelo nosso planeta foi caindo no esquecimento e nos dias de hoje é cada vez mais interrogado devido às sucessivas ameaças de danos ambientais irrecuperáveis que põem em causa a sobrevivência de toda a vida nele existente. Problemas ambientais que eram apenas localizados

ganharam outra dimensão, e hoje são considerados como um problema para a qualidade de vida do homem e das gerações que se avizinham. Com o aumento do nível de vida e a procura insaciável de melhores condições e tecnologias, os novos estilos de vida originam crescentes impactes, não só a nível ambiental, mas também a nível económico e social. Esta filosofia de vida tem levado a elevados gastos de energia que originam grande impacto quer na economia, quer em termos ambientais. Sendo Portugal um país com recursos energéticos próprios escassos (como o carvão, o gás e o petróleo), o que torna maior a dependência energética do exterior, cerca de 82,9% em 2007, em comparação com outros países do espaço europeu como mostra a figura 1 [1].

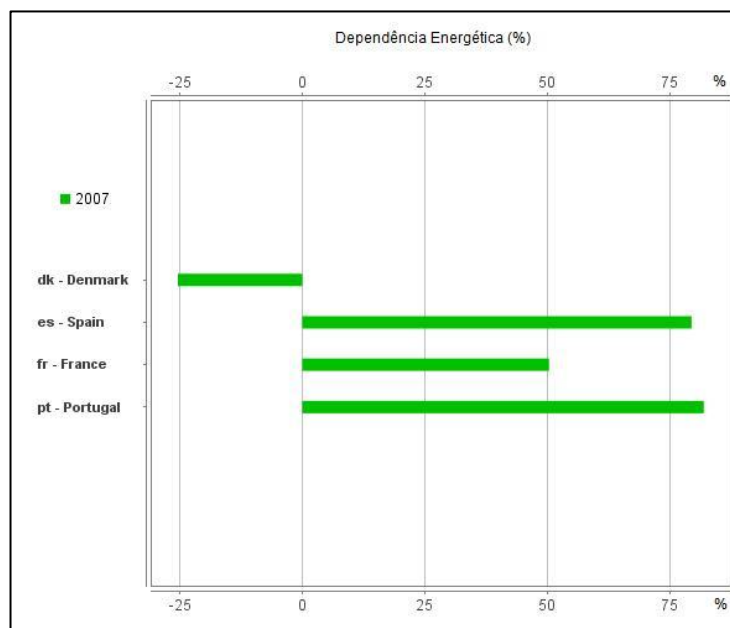


Fig. 1- Dependência energética verificada no ano 2007 [fonte: Eurostat]

A dependência energética mostra até que ponto uma economia depende de importações para atender às suas necessidades de energia. Este indicador é calculado pelo quociente entre as importações líquidas e a soma do consumo energético interno bruto. O uso e abuso das energias de origem fóssil têm conduzido a uma cadeia, sem fim à vista, de atitudes desfavoráveis e prejudiciais ao desenvolvimento sustentável. O aquecimento global e a emissão de gases para a atmosfera são algumas das consequências dessas acções humanas. O Protocolo de Quioto, assinado em 1997, tem como objectivo reduzir a emissão de gases que agravem o efeito de estufa (GEE) em 5,2% abaixo dos níveis de 1990 até 2012 [2]. Surge assim, a procura e o consumo das energias renováveis e biocombustíveis, mas a um ritmo lento que parece não ser suficiente para atingir os objectivos propostos.

Construir sociedades baseadas nas fontes energéticas não renováveis é uma atitude irresponsável que caminha para a saturação e esgotamento dos ecossistemas. Diante deste cenário pessimista impõe-se um uso mais consciente da energia e recurso a fontes alternativas, assim como adopção de posturas que apoiem o uso de materiais e equipamentos mais eficientes e disposições construtivas mais favoráveis. Nos dias de hoje assiste-se a uma crescente preocupação com a eficiência energética e consequentemente com a energia consumida nos edifícios durante o seu tempo de utilização, com o tratamento dos resíduos da construção e demolição, assim como com os materiais usados na construção.

Relativamente aos materiais, o uso de ecomateriais ou materiais verdes, apesar de haver cada vez mais divulgação, são pouco conhecidos tanto pela sociedade como pelos profissionais da construção. No entanto, seja pela necessidade de um mundo mais saudável ou simplesmente por moda, o conceito sustentabilidade na construção tem vindo a ser implementado e o recurso a materiais sustentáveis e “amigos do ambiente” tem aumentado, embora apenas ligeiramente. Uma construção ecológica recorre ao uso de materiais disponíveis localmente, reduzindo assim a poluição gerada nos seus transportes, materiais reciclados e de recursos eficientes, materiais com baixa energia incorporada e de baixa toxicidade no seu fabrico, aplicação e eliminação, materiais duráveis e obtidos a partir de fontes renováveis. A melhor forma de evitar efeitos irrecuperáveis na natureza e consequências desastrosas para a economia, é prevenir tal como diz o ditado “mais vale prevenir, do que remediar”.

É neste âmbito que este trabalho visa analisar o desempenho sustentável das construções através da optimização da escolha de materiais, atendendo aos tipos de materiais existentes, analisando o ciclo de vida dos materiais e avaliando os impactes ambientais provocados.

#### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho encontra-se dividido em oito capítulos distintos. No primeiro capítulo é feita uma apresentação formal do trabalho, referindo o contexto, os objectivos que se pretende alcançar, as dificuldades encontradas, bem como a organização da dissertação e o enquadramento geral.

No segundo capítulo apresenta-se o conceito de sustentabilidade no sentido mais vasto, referindo em particular a construção sustentável, citando as energias renováveis e os materiais de construção.

No capítulo três descreve-se os principais impactes ambientais e ecológicos da urbanização e desenvolvimento das sociedades.

No capítulo quatro são definidos os principais critérios ambientais e ecológicos identificados como relevantes no conceito da sustentabilidade na construção.

No capítulo cinco são analisadas, descritas e comparadas algumas das ferramentas que visam auxiliar no processo de escolha de materiais, bem como no reconhecimento e avaliação da sustentabilidade na construção.

No sexto capítulo são analisados os materiais de isolamento térmico usados no caso de estudo, parque escolar de Braga, bem como analisadas as performances térmicas, ambientais e económicas dos mesmos. É também feita uma introdução à importância dos isolamentos térmicos para a construção sustentável.

No capítulo sete são aplicados os critérios pré-definidos num método expedito baseado numa das ferramentas analisadas, sistema português LiderA, que permite avaliar as performances dos materiais utilizados num caso de estudo. Neste capítulo são ainda propostos materiais alternativos, mais ecológicos, sendo aplicado o mesmo método a alguns desses materiais para caracterizá-los.

No capítulo 8 são realizadas as conclusões e observações finais, consistindo em possíveis melhorias de desenvolvimento futuro relacionadas com a sustentabilidade na construção.

#### **1.5. DIFICULDADES ENCONTRADAS**

No desenvolvimento deste trabalho foram sentidas algumas dificuldades referentes aos impactos ambientais e económicos causados pelos materiais de construção ao longo da vida útil de um edifício, em particular, materiais de isolamento térmico, devido à escassez de artigos e literatura científicos relevantes para a temática.

Um outro obstáculo encontrado diz respeito aos materiais alternativos aos convencionais, ditos ecológicos, pela pouca informação existente e estudos feitos acerca da viabilidade técnico/construtiva.

# 2

## O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

### 2.1. O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

“Somente quando a última árvore tiver morrido, o último rio envenenado e o último peixe for capturado vamos perceber que não podemos comer dinheiro.” (19th- century Cree Indian prophecy)

Durante as últimas décadas, a velocidade de urbanização e a rápida acomodação dos humanos à qualidade de vida das cidades levantaram a questão da sustentabilidade. As actividades humanas, por mais insignificantes que possam parecer, interferem sistematicamente para os processos naturais que são essenciais à vida. As exigências das civilizações modernas por um padrão de conforto elevado geram avanços tecnológicos que procuram satisfazer as constantes necessidades das populações, tendo um impacto positivo no que diz respeito ao desenvolvimento do mundo, mas um impacto extremamente negativo em questões de sustentabilidade. Se adicionarmos ao desenvolvimento tecnológico um elevado crescimento populacional e um consumo exagerado dos recursos naturais resulta uma mão cheia de problemas, que têm tido especial atenção nos dias de hoje, tais como o aquecimento global, a degradação da camada do ozono estratosférico e as chuvas ácidas, poluição das águas e dos solos. Estes efeitos resultam de todo o processo produtivo de uma actividade, desde os materiais empregues, tecnologias usadas, resíduos e emissões, procurando-se uma interligação harmoniosa e equilibrada destes elementos com cada dimensão da sustentabilidade (ver fig.2).

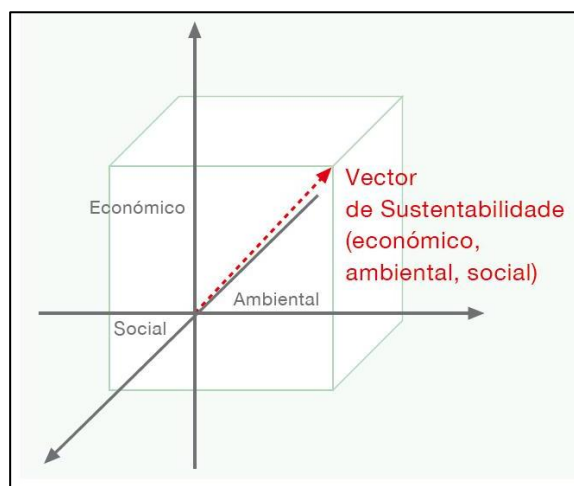


Fig. 2- Dimensões da sustentabilidade (World Business Council for Sustainable Development)

A sustentabilidade visa a melhoria contínua da qualidade de vida das gerações presentes e futuras e a preservação do nosso planeta, conjugando o desenvolvimento económico, protecção ambiental e a

justiça social. É na união harmoniosa destas três dimensões que assenta o conceito de sustentabilidade. Em 1987, foi formalizado pela primeira vez este conceito de sustentabilidade no relatório de Brundtland- *Nosso futuro comum*, como sendo:

“O desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração actual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e económico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais.”

Outras definições foram surgindo, complementando as noções já existentes sobre o desenvolvimento sustentável, assim como documentos que sublinharam a importância dos governos, empresas e grupos sectoriais, em todas as áreas onde a actividade humana afectasse o meio ambiente, na cooperação e no estudo de soluções para os problemas sócio-ambientais, como é o caso da Agenda 21 que resultou da conferência Eco-92 ou Rio-92, ocorrida no Brasil, em 1992. O principal objectivo da elaboração destes documentos foi reafirmado em 1997 na 3ª Conferência das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (Rio +5), em Quioto, onde se estabeleceu o Protocolo de Quioto; em 2002 na Conferência Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio +10), que se realizou em Joanesburgo e em 2005 na Cimeira Mundial das Nações Unidas, demarcando a importância das políticas nacionais e das estratégias de desenvolvimento. Na sequência dos compromissos assumidos por Portugal no âmbito da Agenda 21, foi elaborado em 2002 um documento intitulado Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS), o qual foi actualizado em 2006 juntamente com o Plano de Implementação (PIENDS) até ao ano 2015. Esta estratégia visa “retomar uma trajectória de crescimento sustentado que torne Portugal, no horizonte de 2015, num dos países mais competitivos e atractivos da União Europeia, num quadro de elevado nível de desenvolvimento económico, social e ambiental e de responsabilidade social”.

Neste contexto, a ENDS apresenta sete objectivos a cumprir [3]:

- *Preparar Portugal para a “Sociedade do Conhecimento”*: acelerando o desenvolvimento científico e tecnológico como base para a inovação e a qualificação; melhorando as qualificações e criar as competências adequadas para um novo modelo de desenvolvimento
- *Crescimento Sustentado, Competitividade à Escala Global e Eficiência Energética*: crescimento mais significativo da produtividade associado a um forte investimento nos sectores de bens e serviços transaccionáveis;
- *Melhor Ambiente e Valorização do Património*: protecção do ambiente através da gestão dos recursos naturais, combate às alterações climáticas e conservação do património construído;
- *Mais Equidade, Igualdade de Oportunidades e Coesão Social*: garantir a satisfação das necessidades básicas na área saúde, educação, formação, cultura, justiça e segurança social de modo a proporcionar a equidade, inclusão, coesão e a justiça social;
- *Melhor Conectividade Internacional do País e Valorização Equilibrada do Território*: reduzir o impacto negativo do posicionamento periférico de Portugal no contexto europeu e valorizar o papel das cidades como motores fundamentais de desenvolvimento e internacionalização;
- *Um Papel Activo de Portugal na Construção Europeia e na Cooperação Internacional*: Este objectivo reafirma o compromisso de Portugal com o projecto europeu e compreende a cooperação internacional em torno da sustentabilidade global, envolvendo

o aprofundamento do nosso relacionamento externo com algumas regiões de interesse prioritário para a afirmação de Portugal no Mundo;

- *Uma Administração Pública mais Eficiente e Modernizada*: reforçar o contributo da administração para o desenvolvimento do País, melhorando a qualidade de serviços prestados aos cidadãos e às empresas, para uma sociedade mais justa e com uma melhor regulação.

Estes sete objectivos dão resposta às três dimensões do desenvolvimento sustentável de forma equilibrada, conforme se pode ver na fig.3:



Fig. 3- Pilares do desenvolvimento sustentável [ENDS]

Em Dezembro de 2009, realizou-se em Copenhaga, na Dinamarca, uma cimeira com objectivo de dar continuidade ao protocolo de Quioto que terá término em 2012. Segundo o acordo de Copenhaga, a principal meta a atingir passa pelo aquecimento global, que não deve ser superior a 2 graus Célsius de modo a estabilizar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, como acção de longo prazo para combater as mudanças climáticas. No entanto, esta cimeira apenas resultou num acordo entre países, sem carácter vinculativo.

A sustentabilidade não é obtida instantaneamente, é necessário que haja processos de mudança que devem contar, necessariamente, com a intervenção de todos os sectores da sociedade. Segundo o

Reexame de 2009 da Estratégia da União Europeia em matéria de desenvolvimento sustentável, a actual crise económica e financeira veio revelar que a sustentabilidade é também um factor essencial dos nossos sistemas económicos e financeiros. Pela fig.4 observa-se que o desenvolvimento sustentável é muito mais do que apenas conservação ambiental, implica que haja mudanças estruturais a longo prazo na economia e no sistema social, com o objectivo de reduzir o consumo dos recursos naturais mantendo a capacidade económica e a coesão social.

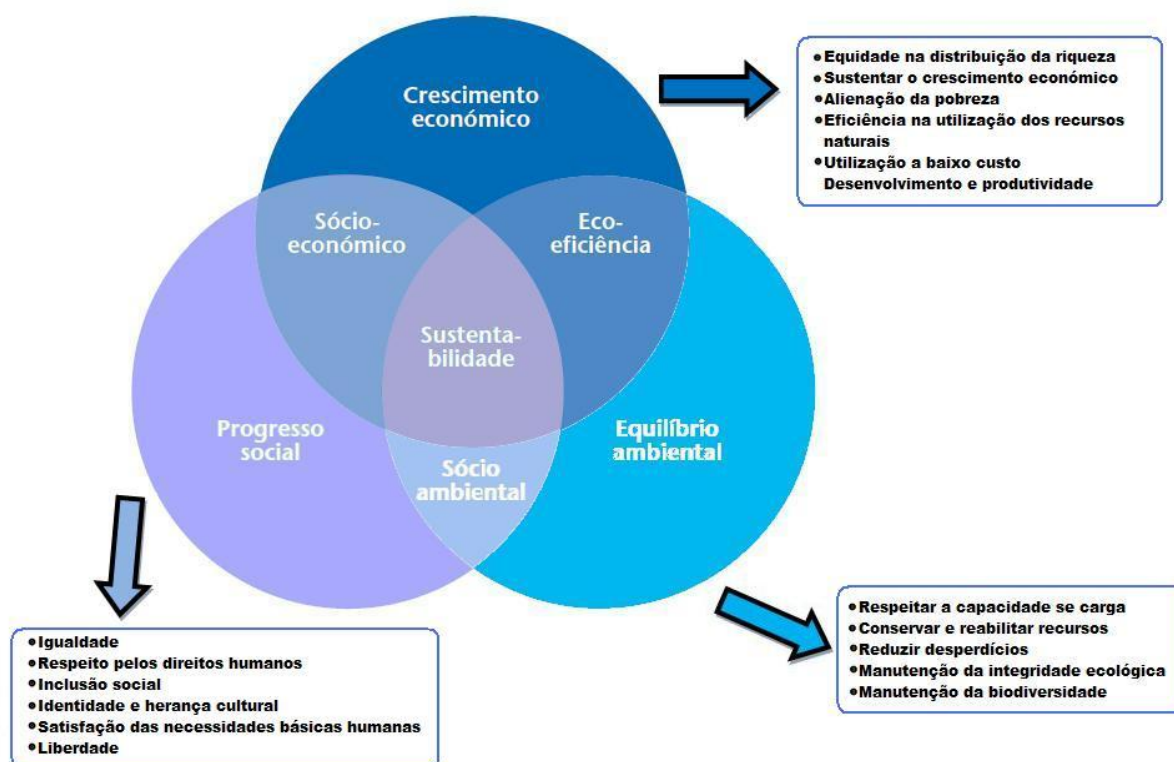


Fig. 4- As três dimensões da sustentabilidade: económico, social e ambiental

[adaptado WBCSD Portugal]

## 2.2. A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

### 2.2.1. ENQUADRAMENTO

A construção sempre esteve intrínseca ao crescimento do Mundo e acompanhado o homem e as suas civilizações no trilho do desenvolvimento que hoje conhecemos. Sejam edifícios, pontes, estradas ou barragens, mostram uma forma de organização e uma vontade de melhorar as condições de vida. Porém, o sector da construção civil, considerando não só a construção propriamente dita, i.e., a utilização dos edifícios assim como a produção de materiais de construção, contribuem amplamente para o incremento do desequilíbrio ambiental que se verifica.

O termo “construção sustentável” foi proposto pela primeira vez pelo professor Kibbert (1994) para descrever as responsabilidades do sector da construção no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável. Segundo Kibbert, o conhecimento existente e o diagnóstico a este sector em termos de impactos ambientais mostram a necessidade de se analisarem as características da construção dita

tradicional e compará-la com materiais de construção, produtos e novos processos tecnológicos sustentáveis.

O sector da construção civil, em Portugal e no resto do mundo, é dos sectores com maiores impactos nos pilares da sustentabilidade. Integra-se nos sectores que mais recursos naturais consomem, mais energias não renováveis utilizam e mais poluentes emitem para a atmosfera, sendo apenas ultrapassado pelo sector dos transportes. De acordo com dados da DGEG (Balanço Energético de 2005, Energia Final), o sector que mais consome energia final é o sector dos transportes (35%), sendo o sector dos edifícios (residencial e serviços) responsável por 30% do consumo de energia final

Este sector distingue-se dos restantes sectores de actividade pela elevada heterogeneidade e especificidades próprias: clientes, em que a procura vai desde o Estado até aos pequenos promotores tradicionais; projectos, onde cada obra apresenta carácter não repetitivo; produtos, que abrangem tanto a habitação dita tradicional, como obras mais complexas (edifícios inteligentes ou barragens); operações produtivas, onde o produto final é obtido pela interacção entre várias especialidades; tecnologias, que resultam da intervenção das diversas especialidades e da coexistência de tecnologias de produção mais recentes com as antigas e da elevada mão-de-obra, maioritariamente pouco qualificada.

A nível nacional, o sector da construção civil, pelos investimentos que mobiliza, tem uma importância relevante no que diz respeito à economia do país, representando cerca de 6,4% do PIB e 10,7% do total do emprego (Banco de Portugal). Desde 2002, Portugal tem assistido a anos sucessivos de crise, com uma quebra ao nível da produção, que a Federação da Construção prevê que seja na ordem dos 6% para este ano, após uma queda de 9% registada em 2009 (ver fig. 5). Estima-se que no final de 2009, o mercado residencial tenha atingido um nível de produção equivalente a apenas 48% daquele que se verificava em 2001, ano em que se deu o auge da actividade deste segmento (balanço 2009, FEPICOP<sup>1</sup>).

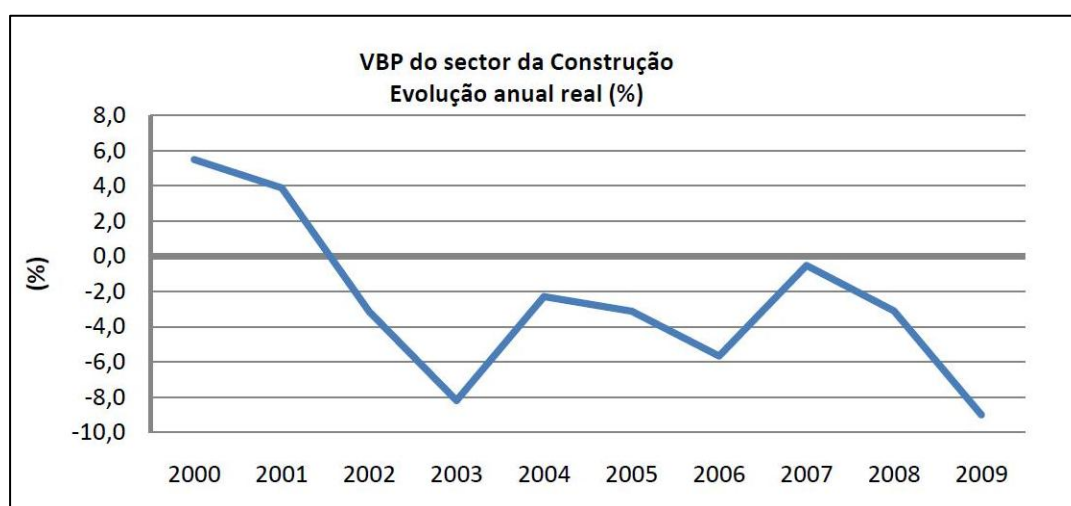


Fig. 5- Valor Bruto de Produção do sector da construção [fonte: FEPICOP]

Segundo a FEPICOP, esta evolução tão desfavorável tem tido consequências graves no tecido empresarial do Sector e repercussões muito fortes ao nível de emprego. Neste último caso, e segundo

<sup>1</sup> Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas

os resultados do Inquérito ao Emprego do INE, é de sublinhar a redução de 8,8% no número de pessoas ao serviço no sector da Construção durante os três primeiros trimestres de 2009.

A crise económica actual compromete o crescimento e a competitividade da economia portuguesa, sendo imperativo a necessidade de investimento de modo a minimizar o défice que Portugal apresenta perante a União Europeia.

### 2.2.2. ENERGIAS RENOVÁVEIS

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o sector da energia é estratégico para implementar a competitividade da economia nacional, seja através da redução da factura energética, seja através de medidas para a protecção ambiental, tendo em conta as alterações climáticas e as emissões de CO<sub>2</sub>, seja através do contributo para a modernização tecnológica dos agentes económicos e das empresas. Deste modo, o Governo estabeleceu a Estratégia Nacional para a Energia, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro, que substitui a anterior Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003, de 28 de Abril (Ministério da Economia, Inovação e Desenvolvimento, 2007). De modo a alcançar o desenvolvimento sustentável a nível energético, destacam-se três eixos de actuação, fig.6, dos quais o aumento das energias renováveis e o aumento da eficiência energética estão integrados na Estratégia Nacional para a Energia.

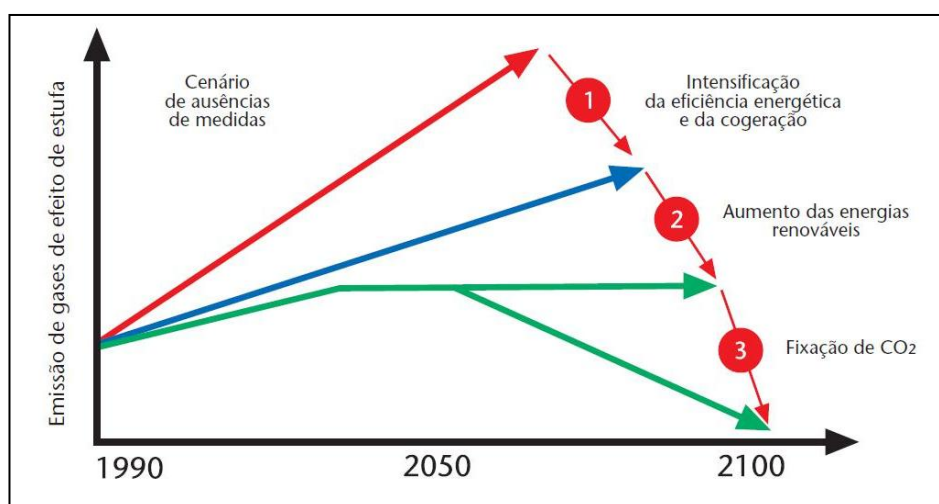


Fig. 6- Estratégias para o desenvolvimento sustentável [fonte: WCD Portugal]

A intensificação da eficiência energética e da cogeração tem por objectivo atenuar o crescimento da procura de energia, enquanto o aumento das energias renováveis procura dar resposta à satisfação da procura. A cogeração é uma forma de produção de energia, que aumenta a eficiência através da produção combinada de calor e electricidade. Numa central de cogeração, o calor produzido não é perdido, ao contrário de uma central eléctrica comum, o que leva a rendimentos na ordem dos 80% fazendo face aos 50 a 60% produzidos nas centrais mais eficientes de electricidade (Ministério da Economia, Inovação e Desenvolvimento, 2007). Como o recurso a combustíveis fósseis não terá uma quebra imediata, a fixação de CO<sub>2</sub> permitirá uma redução dos impactos negativos.

As energias renováveis são fontes alternativas de energia e caracterizam-se pela capacidade de renovação não poluente, assim como pelo seu carácter inesgotável, como é o caso do calor emitido

pelo sol, a existência do vento e das marés. Com vista ao desenvolvimento sustentável a curto e médio prazo no sector da construção, a procura deste tipo de energias e uma crescente eficiência na utilização das energias disponíveis serão as soluções mais adequadas para tornar viáveis os padrões de vida das sociedades desenvolvidas, sem prejudicar o futuro das gerações vindouras. A eficiência energética é o conceito que exprime o conjunto de medidas, ou efeito de medidas, tomadas com o objectivo de reduzir os consumos de energia, mantendo o nível de satisfação do consumidor, através do recurso a uma utilização mais racional e à adopção das melhores práticas (DGEG).

Conforme referido anteriormente, as últimas décadas foram “carimbadas” pela intensa utilização da energia produzida a partir de recursos de origem fóssil, provocando grandes impactos ambientais na sua produção e consumo. Face a estes problemas, a procura de energias renováveis no sector da construção tem aumentado ao longo dos anos, com especial destaque para a energia eólica e fotovoltaica, conforme se pode observar na fig. 7, que mostra uma evolução do uso das energias renováveis em Portugal. O uso deste tipo de energias alternativas, em detrimento das inúmeras vantagens, tem um elevado investimento inicial, requerem a existência de infra-estruturas apropriadas e são dependentes da localização.

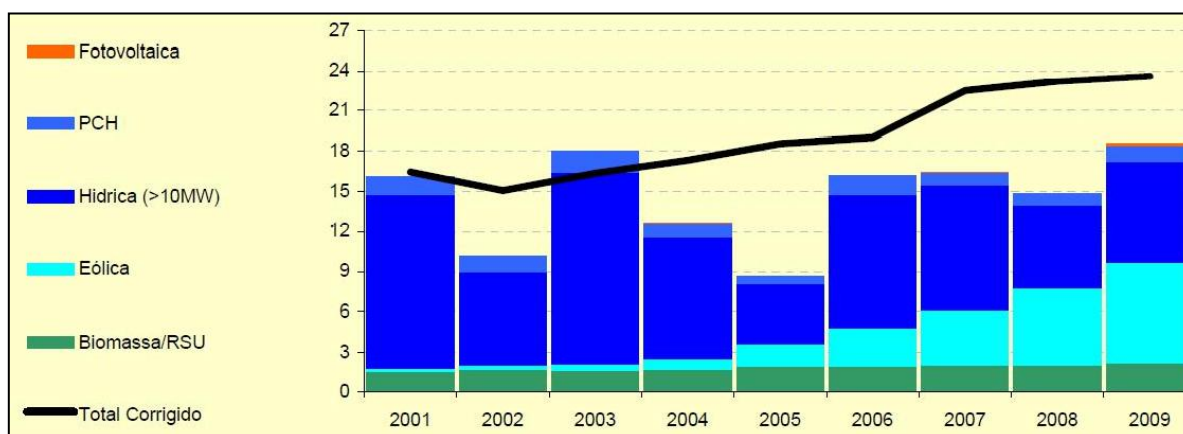


Fig. 7- Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh) [fonte: DGEG]

No sector da construção, a sustentabilidade deve ser pensada logo no processo de concepção, fase de projecto, onde devem ser implementadas boas práticas tendo em atenção o local de inserção, a exposição solar assim como toda a sua envolvente. Ao longo da construção deve haver um esforço na redução da factura energética, adoptando soluções passivas, investindo numa envolvente construída bem isolada e tirando proveito da orientação solar. Segundo Francisco Ferreira, presidente da QUERCUS, o parque urbano tem um período de renovação relativamente longo, sendo que a eficiência energética neste sector tem um peso acrescido. Neste sentido, a criação da Etiqueta de Eficiência Energética para os edifícios vem obrigar a uma maior eficiência energética, em que os novos edifícios, logo de raiz, não podem ser de classe inferior à classe B-. Uma outra medida passa por fomentar a melhoria da eficiência nos edifícios já existentes, com a obrigação da existência do certificado sempre que um edifício seja transaccionado.

A utilização das energias renováveis em Portugal é uma boa forma de combate à crise económica actual, além de que também pode reduzir a dependência energética de outros países de 85% para 75% em 2020, se todos os projectos planeados e resultados em curso se cumprirem - nomeadamente a

construção de barragens, parques eólicos, biomassa e geotermia (ver fig. 8) -, passando de uma produção de renováveis de 40 para 70%, segundo afirma o presidente da APREN<sup>2</sup>.

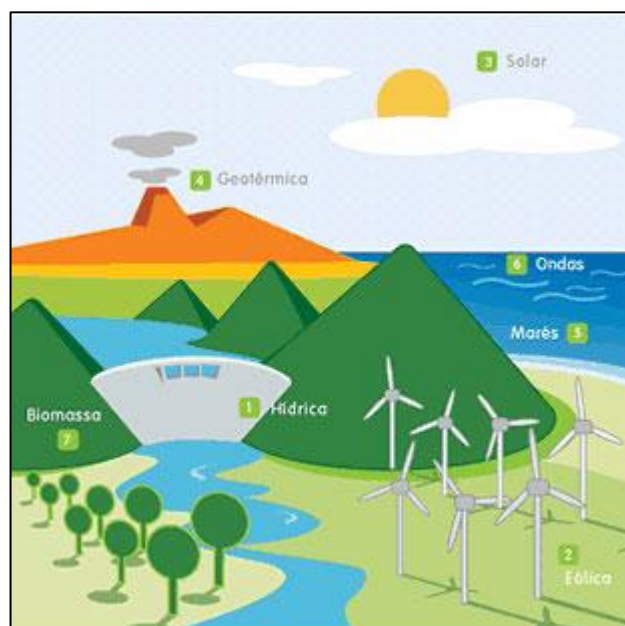


Fig. 8- Energias Renováveis

### 2.2.3. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Na indústria da construção, os materiais desempenham um papel primordial quer na fase de construção, quer na utilização dos edifícios e comportamento das obras de engenharia, quer na sua fase final de demolição. Até à actualidade os critérios de selecção baseavam-se no baixo custo e na facilidade e rapidez de execução. Na fase de projecto, os habituais critérios de escolha passam pela durabilidade, resistência mecânica, isolamento acústico e térmico, custos, disponibilidade no mercado, ambiente onde vai ser inserido devido à humidade e degradação, resistência a agentes externos (como por exemplo, o fogo) e o seu aspecto no final.

A actual consciencialização de que cada etapa ao longo do ciclo de vida dos materiais, desde a extracção das matérias-primas, transporte, transformação, utilização até a uma possível reutilização ou reciclagem envolvem custos, impactos energéticos e impactos na saúde humana, origina uma escolha dos materiais a usar na construção mais rigorosa e criteriosa. Para além dos critérios já referidos, surgem novos requisitos que influenciam a adopção dos materiais, tendo em vista a protecção ambiental (consultar a fig. 9). Surgem assim, os designados ecoprodutos que são produzidos sem agredir o meio ambiente e a saúde dos seres vivos, a partir do uso de matérias-primas naturais renováveis ou naturais não-renováveis mas reaproveitáveis, recicladas ou que causem o mínimo impacto possível durante a sua fabricação e pós-utilização.

O caminho da sustentabilidade não se direcciona apenas para materiais “verdes” ou ecoprodutos, mas sim para um equilíbrio destes com os materiais que não são tão ecológicos, ou seja, um material que

<sup>2</sup> APREN é uma associação portuguesa sem fins lucrativos cujos objectivos focam-se no aproveitamento dos recursos naturais renováveis para a produção de electricidade.

consuma mais energia e que seja durável pode ser considerado um material sustentável, desde que o sistema obtido alcance vantagens que compensem o consumo da energia inicial.

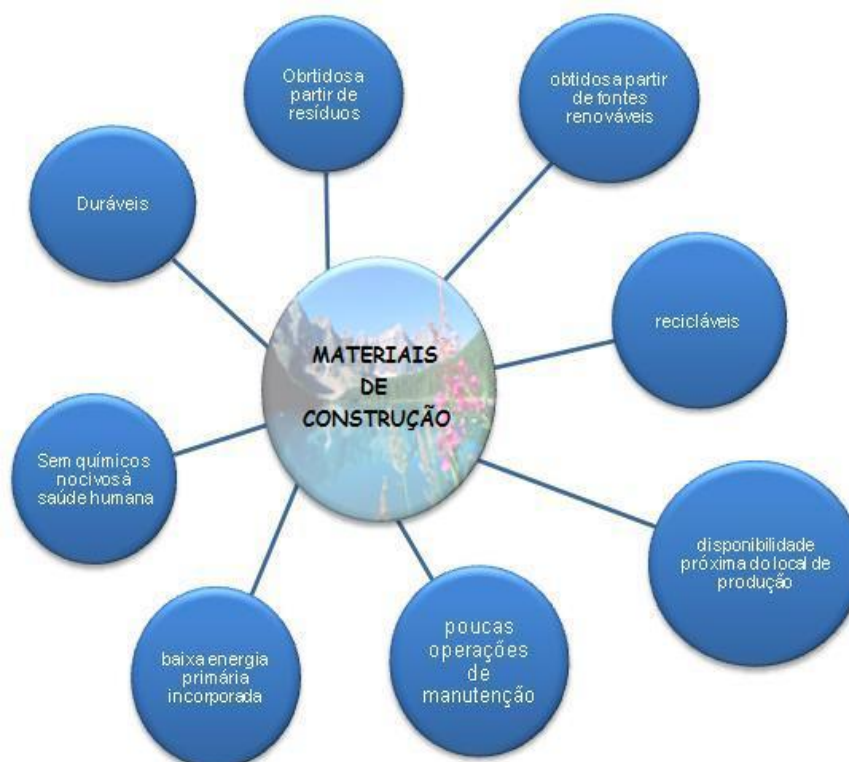


Fig. 9- Critérios de selecção de materiais de construção

Relativamente aos critérios apresentados no esquema anterior, podem ser referidas algumas noções para melhor compreensão:

- ⇒ **Ser durável:** um material durável terá uma vida útil mais alargada e conseqüentemente, menor será o seu impacto ambiental. Contribuem também para a diminuição dos problemas relacionados com a produção de resíduos sólidos;
- ⇒ **Obtidos a partir de resíduos:** materiais obtidos a partir da incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção. A título de curiosidade, a taxa média de reciclagem de resíduos de construção e demolição na Europa é de 50%, já na Dinamarca a taxa aumenta significativamente para os 89%. No caso concreto de Portugal, a incorporação de resíduos industriais em betões constitui uma forma eficaz para atingir a meta prevista num dos objectivos da ENDS 2015 de reduzir em 12,1% o valor dos resíduos industriais em relação aos valores de 2001 [4].
- ⇒ **Obtidos a partir de fontes renováveis:** Os materiais obtidos a partir de fontes renováveis, como por exemplo, a madeira ou, o bambu, contribuem para a preservação dos recursos naturais, desde que o seu consumo não seja superior às taxas de renovação destas fontes;

- ⇒ **Recicláveis:** Apresentam grandes vantagens visto que no fim do seu ciclo de vida podem vir a dar origem a outros materiais. Um produto que pode ser facilmente reciclado tem vantagens em relação a um produto que é inicialmente “verde”, mas que não pode ser reciclado [4];
- ⇒ **Disponibilidade próxima do local de produção:** Este critério implica reduções nos custos económicos e ambientais relativos ao transporte dos materiais de construção, contribuindo para a diminuição dos gases poluentes emitidos e da utilização de energia;
- ⇒ **Poucas operações de manutenção:** um material que exija poucas operações de manutenção requer baixos impactos ambientais, daí que a opção por este tipo de materiais deva ser preferencial;
- ⇒ **Baixa energia primária incorporada:** é a energia consumida durante a extracção das matérias-primas, seu transporte e seu processamento. À energia incorporada estão relacionadas as emissões de CO<sub>2</sub>, dependentes também do tipo de fonte energética utilizada nas fases de produção;
- ⇒ **Sem químicos nocivos à saúde humana:** evitar uso de materiais que ao serem empregues e ao longo da sua vida útil libertem químicos, tais como algumas tintas, vernizes e produtos plásticos.

Dado que a sustentabilidade abrange um variado leque de questões ambientais, económicas e sociais, projectar edifícios ecológicos origina diversos benefícios, seja a nível da eficiência energética, dos recursos hídricos, da qualidade do ar interior, sendo descritas algumas dessas vantagens em relação aos materiais de construção e recursos no esquema seguinte (fig. 10):

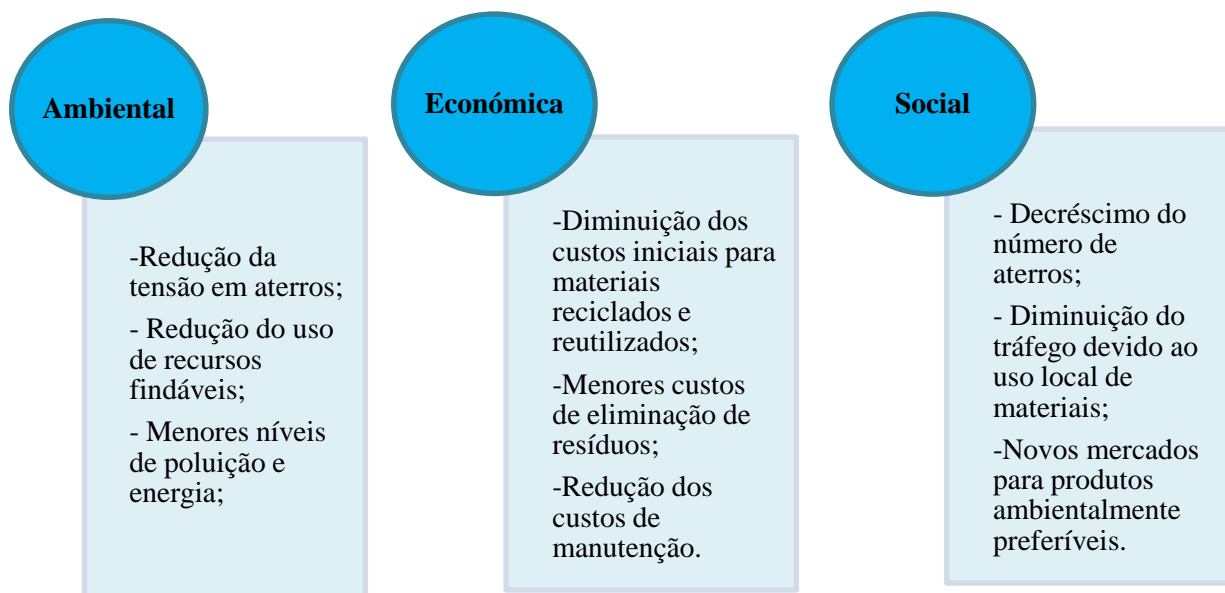


Fig. 10- Benefícios dos edifícios sustentáveis a nível dos materiais e recursos [adaptado de Kibert, 2008]

Em síntese, a construção sustentável deve ser estimulada através de uma boa performance no que respeita à protecção ambiental, através de atitudes mais responsáveis que protejam os recursos naturais face aos elevados consumos de energias. Quanto à economia, no que diz respeito a investimentos que maximizem a durabilidade, requalificação e eficiência das construções. O último vértice foca-se nos aspectos sociais e culturais, que se traduzem no conforto, na saúde, melhoria das condições de vida e preservação de valores. A evolução das preocupações sustentáveis atendendo ao custo, tempo e qualidade na construção pode ser traduzida pela fig.11:

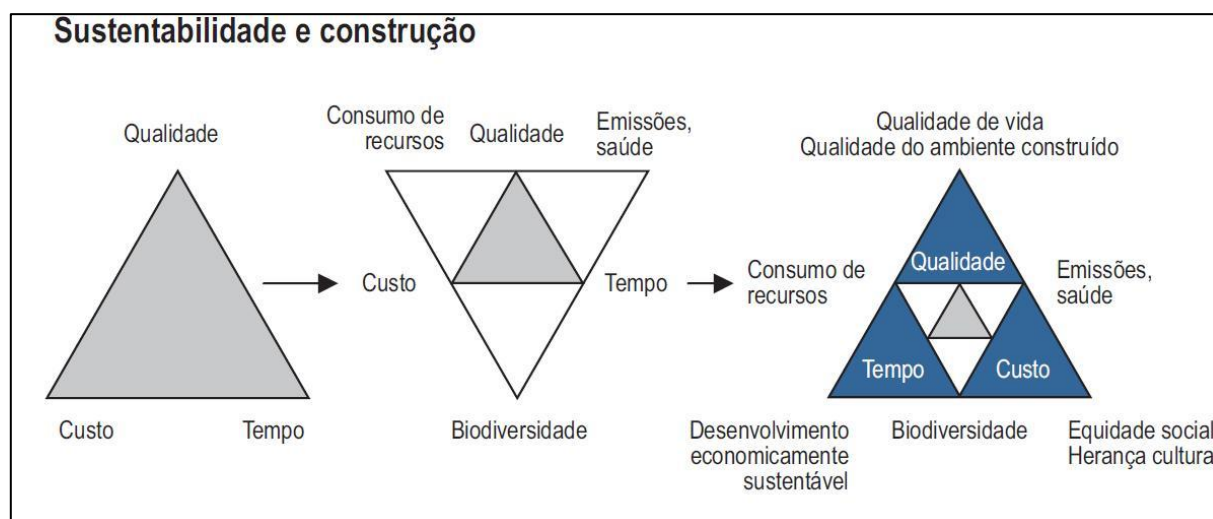


Fig. 11- Evolução das preocupações no sector da construção civil [5]

## 2.3. IMPACTE AMBIENTAL E ECOLÓGICO DOS EDIFÍCIOS

### 2.3.1. PANORÂMICA GERAL

Os edifícios e os empreendimentos surgem para satisfação das necessidades humanas, moldam-se e evoluem a passo das novas tecnologias que procuram responder às exigências crescentes do Homem. As construções, que surgem como resposta às exigências humanas, quando alheias à natureza, provocam marcas graves e irrecuperáveis no meio ambiente e impõe uma rápida adaptação a estas novas intrusões.

A construção de edifícios implica impactes directos, seja nos recursos, nas emissões, nas cargas ou nos ambientes construídos e indirectos nos ambientes naturais [5]. Estes impactes podem ter origem na sua construção, utilização do edifício e na fase final de sua vida útil e reflectem-se de modo distinto dependendo do seu grau de influência: no ambiente edificado, no ambiente local e no ambiente regional ou global. Um edifício sustentável requer uma visão global e integrada de todo o ciclo de vida, desenvolvendo desde a sua concepção, uma estratégia que considere os aspectos ambientais, económicos e sócio-culturais (fig.12).



Fig. 12- Sustentabilidade nos edifícios

São várias as fases que constituem o ciclo de vida de um edifício, iniciando com a fase de planeamento e concepção, considerada por diversos autores a mais importante de todo o processo, pois é nesta altura que se tomam as decisões que terão impactes futuros, nomeadamente no que diz respeito ao local, à ocupação do solo, aos materiais e às necessidades energéticas, entre outros. Nesta fase incluem-se o estudo prévio, que se direcciona também para as necessidades do cliente, que em fase alguma deverão cair no esquecimento, visto ser o consumidor final e o projecto de execução.

Durante a fase de construção, devem ser tidos em conta os impactes ambientais associados aos materiais de construção utilizados e métodos ou técnicas construtivas, assim como a energia consumida. É das fases que contempla mais impactes e alterações significativas nos sistemas ambientais, relativamente à ocupação do solo, à alteração dos ecossistemas e à modificação da paisagem. De modo a minimizar estes impactes, deve ser dada prioridade ao uso de elementos pré-fabricados e/ou desmontáveis, usar materiais duráveis, ecológicos e recicláveis. Dado que nesta fase é fulcral o consumo elevado de materiais de construção, estima-se que represente cerca de 10-20% do impacto de um edifício, em todo o seu processo construtivo [5].

Segue-se a fase de utilização e manutenção, por parte do utilizador desde a recepção da obra até ao fim de vida útil da construção. Para conservação e prevenção dos edifícios deve recorrer-se à manutenção periódica de modo a garantir a conservação e o bom funcionamento dos mesmos. Nesta fase, a energia consumida depende da escolha, em termos de equipamentos, por parte do utente, sendo os gastos e consumos inversamente proporcionais à eficiência energética, i.e., quanto maior for a eficiência energética (Classe A), menos energia consumirá e, conseqüentemente menores serão as facturas. Para além dos resíduos de materiais não aproveitados, na operação e manutenção, os resíduos provenientes dos utilizadores devem sofrer reciclagem de forma a minimizar os demais impactes.

A desactivação ou demolição constitui a fase final da vida útil de um edifício e consiste na separação dos materiais para reutilização ou reciclagem. Dependendo da forma de eliminação ou desconstrução, esta fase contribui para o aumento da produção de resíduos. Apesar de alguns produtos provenientes

da demolição não apresentarem grande qualidade, podem ser reaproveitados para base de estradas ou para pavimentos de baixa resistência [6].

Em Portugal, de acordo com os dados estatísticos de 2008 do INE, representados na fig. 13, a reconstrução é pouco significativa representando apenas 3% das obras efectuadas num total de 53600 edifícios, quando comparada com a percentagem de construção nova que apesar de revelar uma tendência de abrandamento, continua a ser a parcela com mais peso.

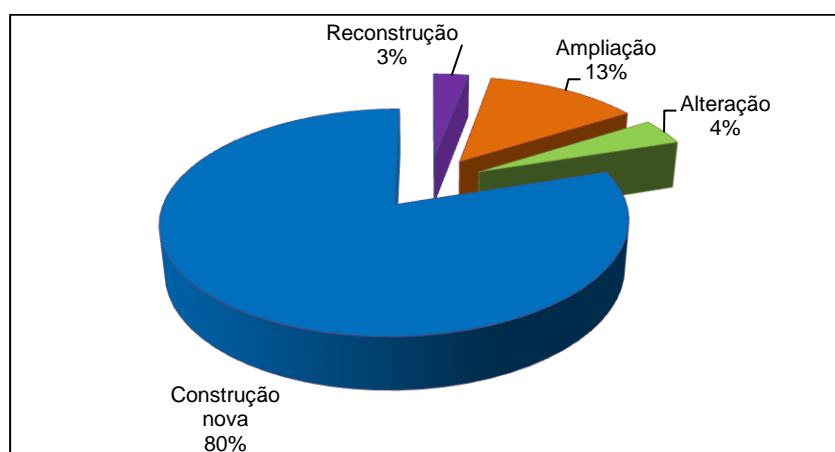


Fig. 13- Edifícios concluídos em 2008, por Tipo de Obra

De acordo com o Decreto-Lei n.º69/2000, de 3 de Maio, impacte ambiental pode ser considerado como qualquer modificação do meio ambiente, podendo ser adversa ou benéfica, resultante da realização de uma actividade ou produto, num determinado período de tempo e numa determinada área, quando comparada com a situação que ocorreria, se nesse mesmo local e período de tempo não se realizasse essa actividade ou produto. Ao longo do ciclo de vida de um edifício, desde a sua concepção até à sua desactivação, para além dos aspectos benéficos como o desenvolvimento das cidades e criação de acessibilidades, são vários os impactes ambientais negativos verificados [5]:

**Fase Concepção/Projecto:**

- ⇒ Consumos, embora reduzidos, de energia, transporte e deslocações: para efectuar levantamentos necessários, estudos topográficos e observação do local;
- ⇒ Consumos associados às operações de escritórios, como por exemplo papel para desenvolvimento de projectos, licenciamentos ou autorizações.

**Fase de Execução/Construção:**

- ⇒ Ocupação e/ou alteração do solo;
- ⇒ Alteração dos ecossistemas e paisagens;
- ⇒ Consumo elevado de recursos (energia, água, matérias-primas) e materiais de construção;
- ⇒ Emissões atmosféricas, provenientes de todo o processo de construção;
- ⇒ Poluição acústica e vibrações;
- ⇒ Criação de zonas impermeabilizadas, o que aumenta a probabilidade de cheias devido ao aumento do caudal a ser escoado.

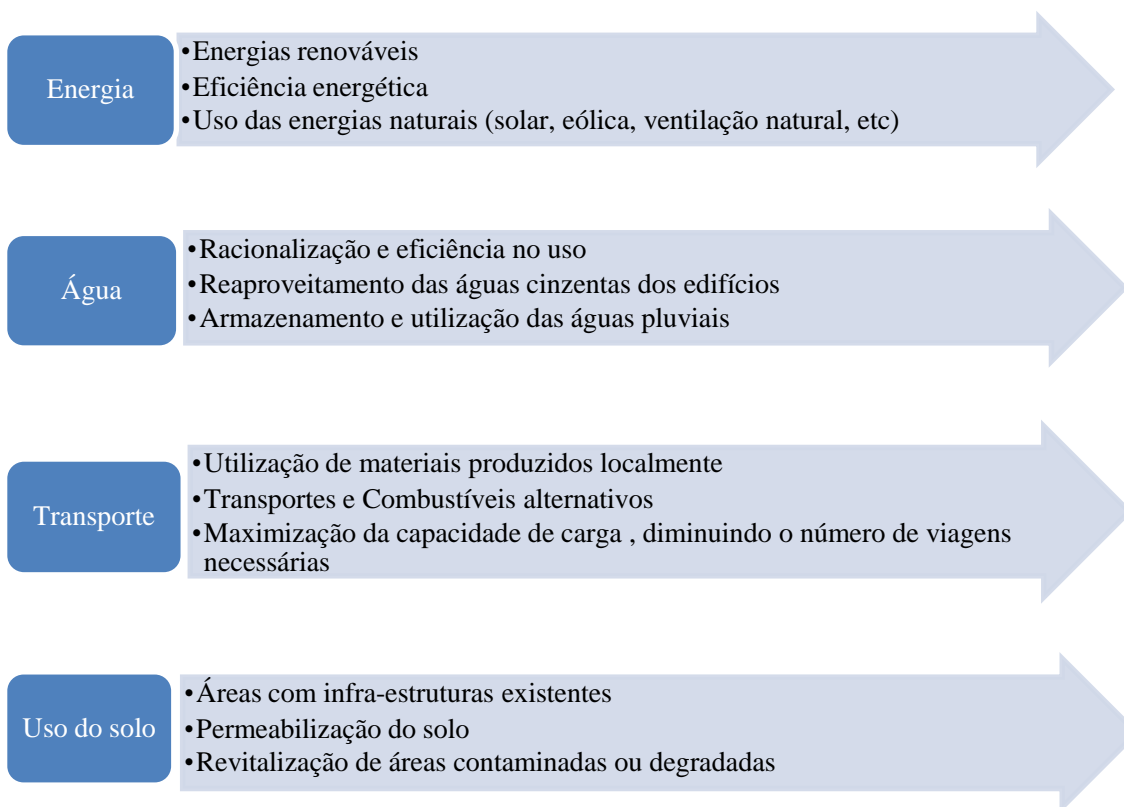
**Fase de Utilização/Manutenção:**

- ⇒ Consumo de energia, água e de materiais;
- ⇒ Produção de resíduos, de efluentes e de emissões atmosféricas;
- ⇒ Conforto e saúde dos utilizadores, no que diz respeito à qualidade do ar interior, à temperatura, à ventilação e à humidade inadequadas, assim como a utilização de materiais que podem conter ou libertar substâncias nocivas para a saúde humana ou sistemas que facilitem o desenvolvimento de agentes patogénicos.

**Fase de Desactivação/Destruição**

- ⇒ Produção de resíduos, dependendo da forma de desconstrução ou eliminação;
- ⇒ Consumo de energia;
- ⇒ Emissões na reciclagem de produtos de demolição.

Os impactes ambientais podem ser minimizados recorrendo a estratégias que promovam a redução do consumo energético, de água e dos resíduos gerados através da racionalização da utilização, assim como apostando na eficiência e na reutilização e reciclagem dos materiais de construção. Em suma, os impactes ambientais da construção podem ser reduzidos recorrendo à política dos três R's: reciclando, reutilizando e reduzindo os resíduos. A título de exemplo, algumas das estratégias com vista à sustentabilidade na construção dos edifícios são apresentadas na figura 14 [7].



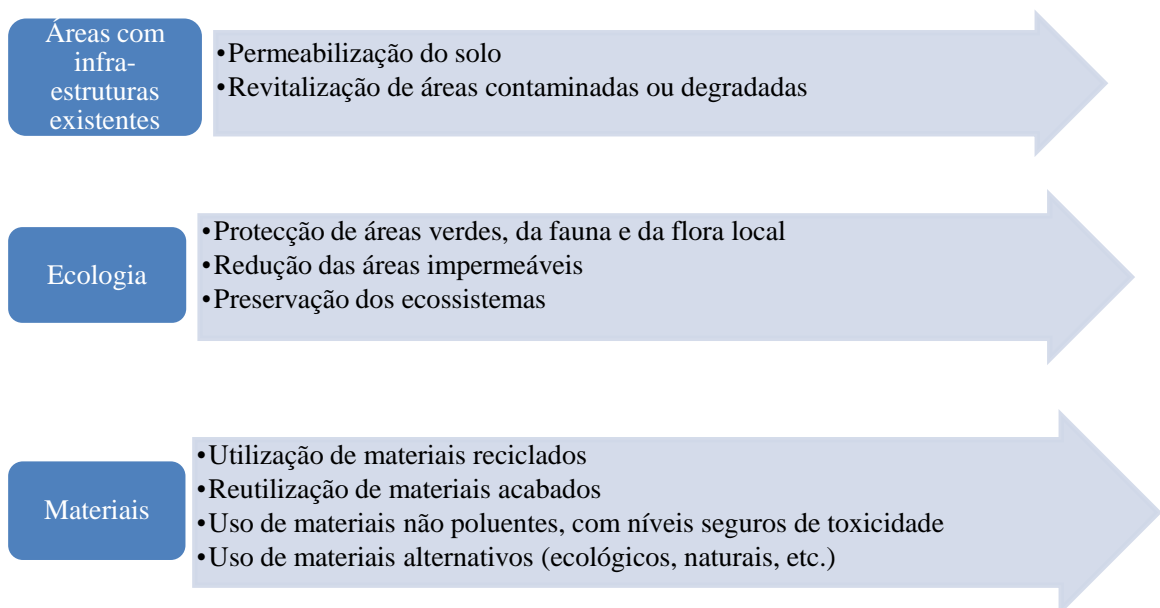


Fig. 14- Exemplo de estratégias de sustentabilidade na construção de edifícios



# 3

## CRITÉRIOS RELEVANTES PARA A ESCOLHA DOS MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

### 3.1. ENQUADRAMENTO

Tradicionalmente, a escolha dos materiais e das tecnologias de construção assentava apenas na experiência. Na construção actual, a diversidade de materiais e sistemas construtivos inovadores exigem mais consciência e mais rigor na selecção das soluções, de modo a satisfazer um conjunto de exigências definidas em regulamentos, normas e especificações técnicas. A escolha dos elementos de construção abrange três fases distintas [8]:

- Definição das exigências a satisfazer;
- Quantificação do desempenho da solução proposta através de ensaios, medições ou simulação;
- Compatibilização das várias exigências, em função das tecnologias disponíveis, acompanhada da elaboração de pormenores construtivos a uma escala conveniente.

A selecção dos materiais de construção constitui uma das mais complexas tarefas que uma equipa projectista se depara durante o desenvolvimento de uma construção sustentável. A inexistência de uma classificação padrão que designe um determinado material como ecológico ou sustentável torna o processo de escolha demorado, dispendioso e subjectivo. Por exemplo, um material que seja considerado ecológico pode não ser sustentável em termos económicos e vice-versa, ou dois materiais cujas funcionalidades sejam equivalentes, podem ser bastante díspares em termos de consequências ambientais. A forma como os materiais são aplicados também interfere na avaliação ecológica, pois se a sua aplicação não for a correcta, não será alcançado qualquer benefício ambiental conforme estava previsto. Assim como, materiais que à partida não sejam ecológicos podem traduzir-se em algumas vantagens para um edifício relativamente ao ambiente quando aplicados com vista a otimizar as suas potencialidades ecológicas.

Ao longo dos tempos, tem-se assistido a um desenvolvimento tecnológico importante na área dos materiais de construção, desafiando o seu progresso através, por exemplo, de aços de maior resistência, betões de melhores performances e com menores impactos ambientais, utilização generalizada de vidros, polímeros e alumínio, assim como de materiais compósitos, “ópticos”, de mudança de fase e ecomateriais. Apesar do vasto leque de novos materiais (como as fibras de carbono, as pedras artificiais, vidro especiais, etc.) ainda prevalecem os materiais tradicionais nas várias soluções construtivas existentes, destacando-se a utilização do tijolo, do betão pronto, do cimento, dos agregados, do aço e do ferro, dos cerâmicos de revestimento, dos alumínios, dos vidros, das madeiras das tintas e vernizes, entre outros.

Quando se pretende construir, surgem dúvidas quanto aos tipos de materiais a aplicar conforme as exigências funcionais e a qualidade. No que respeita à certificação de qualidade dos materiais de construção, apesar de ainda ser reduzida, tem-se verificando uma evolução significativa, devido principalmente à crescente importância dada à qualidade como sendo uma mais-valia e um aspecto diferenciador na Construção. A escolha por materiais certificados dá melhores garantias ao utilizador e salvaguarda a responsabilidade dos construtores quando ocorrerem anomalias precoces com origem em deficiências nos materiais.

No mercado de oferta, existem diversos tipos de materiais usados na construção, com propriedades e comportamentos completamente distintos: cerâmicos, compósitos, materiais naturais, metais e plásticos. Cada grupo de materiais apresenta características próprias, sendo seguidamente descritas de um modo sucinto.

### **Cerâmicos**

Um cerâmico é um material inorgânico, obtido a partir de matérias-primas naturais (argilas), que necessita de elevadas temperaturas para a sua produção e consequentemente a energia incorporada inicial é bastante elevada. No entanto, como são materiais resistentes e duráveis, o seu ciclo de vida é longo, logo o impacto da energia associada à sua produção é baixo pois é compensado pela duração do seu uso. São materiais que possuem boa resistência a agentes químicos e ao fogo, apresentam facilidade na limpeza e manutenção e contribuem para uma boa qualidade do ar interior através das baixas emissões para o ambiente após a sua aplicação. Este material pode ser reciclado ou valorizado como um agregado secundário através da incorporação deste resíduo em processos produtivos. Actualmente, os impactos ambientais habitualmente inerentes à produção de materiais cerâmicos têm sido reduzidos através da utilização apenas de matérias-primas inertes, não nocivas para o ambiente e processadas sem recurso a qualquer componente industrial perigoso, derivados de petróleo, produtos florestais ou outras matérias fósseis, sem provocar qualquer contaminação do solo ou águas.

São alguns exemplos de materiais cerâmicos mais conhecidos e utilizados na construção civil os tijolos, as telhas, as tijoleiras, os refractários e as faianças (azulejos).

### **Compósitos**

Materiais compósitos podem ser definidos como materiais que combinam dois ou mais constituintes com composições, estruturas e propriedades diferentes e que estão separados por uma interface e que apresentam maior durabilidade e resistência do que os constituintes unitários que os formam.

Têm como desvantagens a elevada energia incorporada associada à sua produção, o consumo de recursos não renováveis, como por exemplo materiais derivados do petróleo e a reduzida capacidade de reutilização e reciclagem. Em algumas situações é empregue o seu uso em alternativa aos materiais mais “verdes” e ecológicos, devido principalmente à sua elevada durabilidade e baixa necessidade de manutenção [9].

São exemplos de compósitos, materiais constituídos por fibra de vidro, o betão e a madeira.

### **Materiais naturais**

A utilização de materiais naturais que exigem o mínimo de processamento traduz-se em impactos benéficos para o ambiente. São considerados materiais naturais a pedra, a madeira, a cortiça, o adobe, materiais com origem em actividades agrícolas, como o algodão, etc. Este grupo de materiais apresenta baixa energia incorporada, são facilmente recicláveis, muitas vezes estão disponíveis localmente, mas no entanto alguns materiais naturais necessitam da incorporação de aditivos para poderem ser utilizados eficientemente na construção, o que pode originar emissões de poluentes para a atmosfera.

### **Metais**

Os metais, como por exemplo o aço, o alumínio, o bronze, etc., são materiais com elevada energia incorporada, que requerem elevadas quantidades de energia no seu processo produtivo e são responsáveis pela emissão de substâncias perigosas para o ambiente, principalmente CO<sub>2</sub> e outros gases com efeito de estufa. Alguns metais podem ser reciclados, como é o caso do aço e do alumínio, sendo que este último, por vezes, requer mais energia na sua reciclagem (devido às elevadas temperaturas de fundição) do que na sua produção, podendo não compensar o uso de alumínio reciclado. No caso do aço, a energia consumida na sua produção depende dos diferentes processos a que é submetido, sendo que os consumos são mais elevados quando a produção é feita em alto-forno do que em forno de arco eléctrico [10].

Apesar das desvantagens, são recomendados pela sua grande utilização na construção e a sua longa vida útil.

### **Plásticos**

Os plásticos são produzidos a partir de resinas (polímeros), geralmente sintéticas e derivadas do petróleo, que requerem uma quantidade considerável de energia. Por serem materiais flexíveis, resistentes ao tempo e ao calor, muito leves e requererem pouca manutenção (não enferrujam nem apodrecem) são materiais muito utilizados na indústria da construção, nomeadamente em isolamentos de cabos, canos, em pavimentos, etc. Alguns dos problemas relacionados com o uso deste material derivam do facto de que nem todos os plásticos são recicláveis e são de difícil biodegradação.

Na fabricação de plástico consome-se actualmente menos 40% a 70% de energia do que há uns anos atrás e só quando são indevidamente queimados se tornam potenciais poluentes pelos químicos libertados para o meio durante a combustão. O plástico é o material mais usado nos equipamentos de produção de energias alternativas como a energia eólica e a energia solar [11].

### **Inertes**

Inertes, também denominados agregados, são pequenas partículas de rochas, cujas características relativamente à forma, tamanho e natureza dependem da rocha a partir da qual são produzidos. Na produção de inertes, podem utilizar-se muitas rochas diferentes, incluindo granitos, basaltos, pórfiros, calcários, arenitos, areias e gravilhas, etc. Os inertes são amplamente utilizados na construção, incluindo areia, cascalho, brita, escória, betão, argamassa e agregados reciclados. São usados para fazer betões e argamassas, dado serem mais baratos do que os cimentos, diminuindo o custo da obra,

assim como diminuem as retracções dado que os inertes não reduzem de volume. Podem também ser usados como materiais drenantes em fundações.

### **3.2. PRINCIPAIS CRITÉRIOS PARA A SELECÇÃO DE MATERIAIS**

Existem muitas estratégias para tentar reduzir os impactes ambientais inerentes ao uso dos materiais de construção, o que dificulta a delimitação de uma única estratégia que inclua todos os materiais em todas as aplicações. No entanto, é possível identificar critérios gerais mais relevantes, que orientem a sua avaliação e selecção, não se apresentando por ordem de importância<sup>3</sup>:

#### **⇒ Materiais que contribuem para a eficiência energética dos edifícios**

O custo cada vez mais elevado da factura energética coloca na ordem do dia a questão da eficiência energética no sector habitacional. O consumo de energia depende de vários factores e pode ser reduzido durante a fase de projecto, tendo em atenção a correcta orientação do edifício permitindo tirar partido do Sol, reduzindo as necessidades de climatização artificial; a boa escolha de materiais para isolamento térmico do edifício minimiza as perdas de calor no Inverno ou ganhos de calor no Verão, mantendo assim uma temperatura mais constante no interior dos edifícios; ou até mesmo a correcta escolha das tintas a utilizar nas fachadas e coberturas.

Por vezes, os benefícios ambientais da redução de energia gerada pela utilização de materiais que contribuem para o desempenho energético podem compensar os impactos negativos associados à natureza do material em questão. A título de exemplo, a utilização de poliestireno expandido (EPS) como isolamento térmico, material com elevada energia incorporada pode apresentar vantagens se a sua aplicação conduzir a uma elevada redução da energia consumida na climatização do edifício [12].

#### **⇒ Materiais com baixa energia incorporada e de fácil processamento**

O consumo associado à energia incorporada divide-se em três componentes diferentes: o consumo directo; o consumo indirecto e o consumo associado ao transporte das matérias-primas. O consumo energético directo relaciona-se com a extracção das matérias-primas e o seu processo de fabrico, o consumo indirecto relaciona-se com o consumo único e exclusivo da unidade de produção, como por exemplo a energia gasta nos equipamentos de produção, tendo pouco significado quando comparado com os restantes consumos. O consumo associado ao transporte das matérias-primas é variável consoante o tipo material a transportar, o meio de transporte a utilizar e as distâncias a percorrer.

Assim, quanto mais elaborado for o processamento de um determinado material, quanto mais transformações exigir, maior será a energia primária consumida. Baixa energia incorporada significa que ao fabricar, transformar e transportar determinados materiais, não sejam consumidas grandes quantidades de energia. Sempre que a durabilidade dos materiais não seja comprometida e as reservas de matéria-prima o permitam, o uso na construção dos materiais com baixa energia primária, como por exemplo, a madeira, deve ser privilegiado.

Os materiais reciclados, assim como materiais naturais apresentam valores mais baixos de energia incorporada. A utilização da cortiça ou lã de ovelha nos isolamentos podem constituir uma alternativa aos materiais tradicionais, que contêm energia incorporada mais elevada. A energia incorporada varia

---

<sup>3</sup> Os critérios apresentados resultam da pesquisa de trabalhos de diversos autores, de regulamentos britânicos e ferramentas de avaliação ambiental (Lucas, 2008; GreenSpec guide, Santin, 2008)

consideravelmente de material para material, conforme se pode analisar pela figura seguinte cujos valores de energia são expressos por unidade de massa (MJ/kg) ou por unidade de volume (MJ/m<sup>3</sup>).

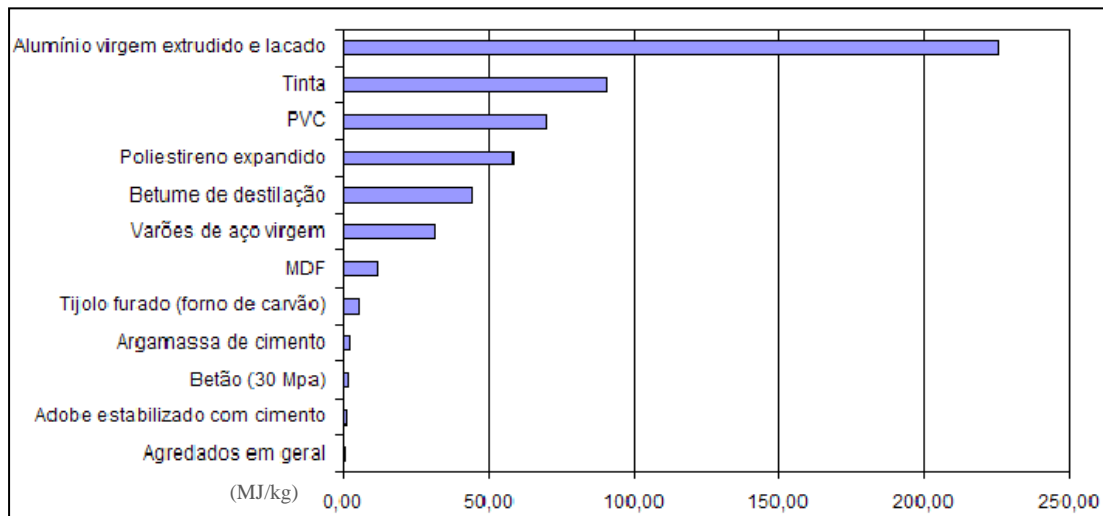


Fig. 15- Energia incorporada em alguns materiais de construção (MJ/kg) [13]

#### ⇒ Materiais com elevada durabilidade e reduzidas operações de manutenção

Uma construção é durável se for capaz de cumprir as funções para que foi concebida durante o período de vida previsto, em média para edifícios 50 anos, sem que para tal seja necessário despendar custos de manutenção, substituição e reparação imprevistos [14]. Um material durável é sinónimo de sustentável, uma vez que aumentar a durabilidade é também uma opção para reduzir o consumo do desenvolvimento e reduzir as cargas ambientais. Quanto maior for a vida útil de um material, menores são as quantidades de matérias-primas necessárias, assim como as quantidades de resíduos gerados após utilização, tendo em atenção que é importante considerar uma óptima durabilidade não apenas uma máxima durabilidade. Aumentando a durabilidade, menor é a necessidade de manutenção e substituição, logo os custos intrínsecos também diminuem.

A vida útil de um determinado material depende, essencialmente, de alguns factores como a sua estrutura física e composição química; a forma como foi executada a sua aplicação e o local do edifício onde se encontra; do meio ambiente local, nomeadamente das condições climáticas; e das operações de manutenção e gestão ao longo do ciclo de vida [15].

#### ⇒ Materiais com origem em recursos renováveis e naturais

Os materiais com origem em recursos renováveis e naturais têm por vantagens não serem poluentes, poderem por vezes ser explorados localmente, não conduzirem a compostos orgânicos voláteis (COV's) e serem biodegradáveis na sua maioria. A aposta neste tipo de recursos visa limitar a intensidade carbónica da economia e contribuir para a diversificação e sustentabilidade do sector energético, assentando essencialmente no desenvolvimento das energias hídrica e eólica, na biomassa, no incentivo aos biocombustíveis e na energia solar, sendo que Portugal é um país relativamente rico

em fontes de energia renováveis, mas a sua utilização encontra-se muito abaixo do que poderia ser aproveitado.

A escolha de materiais de construção que não desgastem os recursos deve ser preferível à utilização de materiais que têm origem em matérias-primas como derivados de combustíveis fósseis. Contudo, os custos iniciais podem ser um entrave para a utilização deste tipo de materiais, para além de que, a utilização de recursos renováveis pode não ser tão rentável e fiável conforme esperado e, muitas vezes, é de difícil acesso. São exemplos de materiais renováveis ou naturais a madeira, a cortiça e vernizes naturais (com toxicidade zero).

#### ⇒ **Materiais reciclados e recicláveis**

Um material reciclado é obtido, na totalidade ou parcialmente, a partir de materiais que já não são necessários, transformando-os em materiais úteis novamente, diminuindo assim a utilização de matérias-primas. Se todos os resíduos materiais dos processos de extracção, manufactura e utilização de qualquer material ou produto forem reduzidos, recolhidos e reorganizados até à qualidade original em que os retirados do meio ambiente, serão evitados os impactos ambientais associados ao seu uso, como por exemplo a diminuição da produção de substâncias prejudiciais aquando da sua destruição, menores custos de transporte e tratamento de resíduos, etc., e serão regenerados os recursos para que estejam novamente aptos para serem empregues nas construções [16]. Para alguns materiais os custos de transporte e o tipo de processo não justificam a sua reciclagem, sendo mais benéfico para o ambiente a opção de utilizar materiais novos, como o caso do alumínio. Apesar das vantagens óbvias, a aplicação destes materiais nas construções não é prática corrente, seja pelos custos mais elevados dos materiais ou pela falta de confiança e de informação relativamente ao comportamento *a posteriori*. Para além da divulgação dos benefícios ambientais do uso deste tipo de materiais, deveria ser também difundida informação relativamente às suas características mecânicas e resistências de modo a criar uma maior confiança nestes materiais na aplicação em obra.

A título de exemplo, estudos feitos sobre o uso de agregados reciclados no betão revelam que, em proporções convenientemente dosadas, não afecta a resistência à compressão, tão pouco a durabilidade do betão face à corrosão das armaduras. No entanto, é imprescindível que se dê importância primária para o tratamento dos resíduos, desde a caracterização até a fase de utilização dos agregados no betão. Assim, o material utilizado fica com suas propriedades conhecidas e a sua utilização não fica limitada [17].

Com vista a aumentar as taxas de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) em Portugal e fomentar o uso de materiais reciclados e o escoamento de fracções inertes provenientes dos processos de triagem e reciclagem, a Quercus apresentou uma proposta que obriga a incorporação no diploma que regula a gestão dos RCD (Decreto-Lei nº 46/2008) de 5% de materiais reutilizados e reciclados em obras públicas [18].

#### ⇒ **Materiais produzidos localmente**

Quando são utilizados em obra materiais produzidos no perímetro do local da construção são reduzidas as emissões de CO<sub>2</sub> produzidas no transporte dos materiais, os custos associados também ao transporte são minimizados, assim como a economia local é estimulada contribuindo para a vertente económica e social do desenvolvimento sustentável. Os materiais produzidos localmente devem ser

preferíveis quando os custos de extracção desses materiais não forem superiores aos custos de transporte no caso de os materiais serem provenientes doutra região.

Em Portugal, a cortiça constitui um exemplo de um material com grandes vantagens no seu uso, sendo produzido localmente, conjugando os benefícios ambientais com o contributo que o seu consumo dá para a economia do país [9].

#### ⇒ **Materiais com baixa toxicidade para os utilizadores**

Na sociedade moderna, grande parte do tempo é passado no interior de edifícios, sejam de habitação, escritórios, lazer, o que faz com que a questão da qualidade do ar interior seja de grande importância. Os materiais de construção, tal como mobiliário e produtos de manutenção são fontes importantes de compostos orgânicos voláteis (COV's) e formaldeído. É o caso de materiais usados nos acabamentos interiores em algumas tintas e revestimentos. Determinados materiais de isolamento também são de evitar, como por exemplo o poliestireno expandido (EPS) e a espuma rígida de poliuretano (PUR) por terem substâncias prejudiciais à saúde humana. De um modo geral, os materiais novos apresentam emissões de COVs elevadas logo após a sua produção que vão decrescendo com o tempo. Deste modo, o uso de materiais designados por “materiais limpos” e a aposta numa boa ventilação constituem boas medidas de protecção e melhoria da qualidade do ar interior.

Na constituição dos materiais e componentes de construção podem estar envolvidos vários produtos químicos, sendo que a maior parte desses químicos, por serem recentes, ainda não se encontram suficientemente estudados pelo que não se conhecem os efeitos na saúde dos ocupantes. Mais grave ainda é o efeito cumulativo e interactivo da exposição aos compostos químicos, pois existem doenças que se manifestam passado um longo período após a exposição e existem compostos que isoladamente não são prejudiciais à saúde mas que em combinação com outros apresentam sérios riscos para os humanos.

Cada material, produto ou componente a utilizar num edifício deve ser correctamente analisado, atendendo às suas especificações técnicas e ao seu processo de fabrico de modo a identificar a presença de compostos químicos que sejam tóxicos. A dificuldade inerente a este critério foca-se na forma de medição e comparação da toxicidade dos materiais, que depende de vários factores, nomeadamente do tipo de material em questão (revestimentos, isolamentos, tintas e vernizes, etc.), do ambiente onde os materiais são aplicados (bem ventilado, aquecido, existência de ar condicionado, etc.) e do tempo de exposição dos utilizadores. Daí que estabelecer o conteúdo tóxico de um material pelo conhecimento da quantidade de compostos químicos, regime de emissões de gases que podem ser transmitidos aos ocupantes do edifício e de outras características potencialmente perigosas, é de difícil exactidão. Alguns dos critérios rápidos de análise da toxicidade passam pelo cheiro que é emanado pelos materiais ou produtos, análise das fichas técnicas dos materiais a usar, e conhecimento dos efeitos adversos de alguns compostos químicos. A título de exemplo, no quadro seguinte (Quadro 1) são apresentados apenas alguns compostos químicos que podem ser encontrados nos materiais de construção e respectivos efeitos na saúde.

**Quadro 1- Exemplos de substâncias tóxicas e suas consequências nos utilizadores [19]**

Composto Químico	Propriedades	Materiais e componentes onde podem ser encontrados	Consequências na saúde humana
<b>Amianto</b>	Fibra mineral com boas propriedades térmicas, incombustibilidade e resistência	Era muito comum antes de ser proibido o seu uso nos materiais de construção, existindo ainda em muitos edifícios. Era utilizado como: Armadura em argamassa de cimento (fibrocimento) para realização de chapas de cobertura, tubagens e elementos de revestimento; Isolante (acústico e térmico)	Cancro do pulmão; Outros cancros no aparelho digestivo; Estes sintomas poderão surgir apenas passado um período de 20 a 40 anos após a exposição
<b>CFC/HCFC</b>	À temperatura ambiente são fluídos, incombustíveis e incolores	Espumas; Isolamentos; Sistemas de ar condicionado; Extintores que contenham hálon	Irritação cutânea; Vômitos; Sonolência; Dermateite; Depressão do sistema nervoso central
<b>Formaldeído</b>	Cov muito comum; Químico que é libertado para o ar sob a forma de um gás caustico. É utilizado como conservante e adesivo	Madeiras, como conservante; Aglomerados de madeira, como ligante; Produtos têxteis, como agente anti-encolhimento	Se inalado: dores de garganta, diminuição da frequência respiratória, edema pulmonar, problemas de fígado, rins e sistema nervoso central; Se em contacto com a pele: irritação da pele, vermelhão e dor

⇒ **Materiais com reduzidas emissões de poluentes para o ambiente**

Materiais utilizados na construção podem conter muitas substâncias orgânicas e inorgânicas que são passíveis de serem libertadas para o ar, solo e água, por meio de abrasão, emissão, lixiviação, corrosão ou radiação, podendo representar um perigo para o ambiente, quer seja durante a sua produção, utilização ou manutenção. Determinados materiais podem ser fabricados de diferentes maneiras e com diversos efeitos contaminantes, sendo preferível e sempre que possível, a selecção de materiais com baixo efeito contaminante, seguida pela selecção de produtos que advém de indústrias com melhor gestão ambiental.

Apesar de na sua maioria os materiais empregues nas construções serem inertes, alguns materiais podem conter substâncias que são libertadas para o ambiente, como por exemplo, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), os clorofluorcarbonetos (CFC's), os hidroclorofluorcarbonetos (HCFC's) e os COV's que são responsáveis pelo aquecimento global e destruição da camada de ozono; outras, como os metais pesados (mercúrio e o chumbo), podem poluir os cursos de água e os solos, sendo muito perigosas para a saúde humana.

A emissão de dióxido de carbono para a atmosfera pode ser avaliada recorrendo a base de dados disponíveis gratuitamente aos utilizadores, como é o caso do ICE (Inventory of Carbon & Energy) e

do software DesignBuilder, que fornecem informações de vários materiais de construção quer a nível de energia incorporada, quer a nível de carbono incorporado. A título de exemplo, através da consulta à base de dados ICE, é possível observar que em termos de isolamentos, a fibra de vidro possui menor quantidade de carbono incorporado (1,53 kgCO<sub>2</sub>/kg) do que o poliestireno expandido (EPS, 2,50 kgCO<sub>2</sub>/kg). Na figura seguinte (fig.16) é possível observar as quantidades de carbono incorporado em vários materiais de construção, retiradas do software DesignBuilder, para 1cm de espessura de cada material considerado.

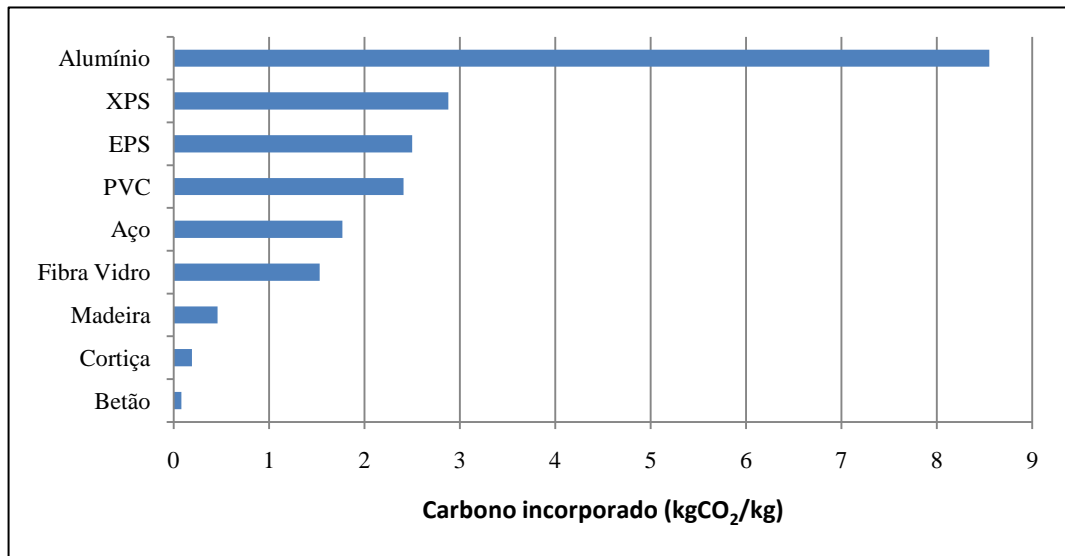


Fig.16- Carbono incorporado em alguns materiais de construção



# 4

## METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO E SELECÇÃO DE MATERIAIS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Com as crescentes preocupações ambientais, surgiu a necessidade de desenvolver abordagens e ferramentas de gestão que permitissem às empresas auto-avaliar as consequências no meio ambiente das atitudes e decisões que tomavam em relação aos seus produtos e processos. De modo a solucionar este problema, desenvolveram-se ferramentas de avaliação da sustentabilidade na construção de edifícios a vários níveis de análise: materiais de construção, elementos de construção, produtos de construção, zona e local de implantação do edifício.

As metodologias e ferramentas para avaliação da sustentabilidade podem ser distinguidas em três tipos [19]:

- **Ferramentas de suporte à concepção de edifícios sustentáveis**, sendo aplicadas em fase de anteprojecto e projecto, permitindo aos projectistas alcançarem os requisitos pretendidos pelo Dono de Obra no que diz respeito ao desempenho desejado para os edifícios a construir (ver fig.17);
- **Sistemas de análise do ciclo de vida (ACV) dos produtos e materiais de construção**, que permitem a estimativa dos impactes ambientais gerados ao longo de todas as fases do ciclo de vida de um edifício;
- **Sistemas e ferramentas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável**, que possibilitam a avaliação da sustentabilidade através de indicadores e parâmetros no contexto das várias vertentes do desenvolvimento sustentável (ambiental, económico e social).

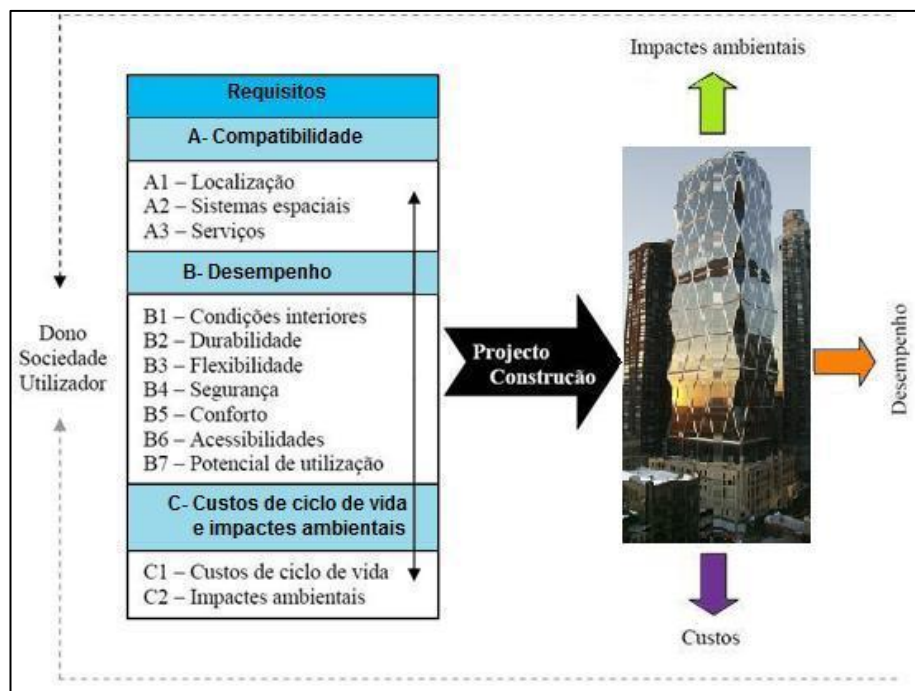


Fig. 17- Modelo genérico de uma ferramenta de suporte à concepção de edifícios sustentáveis [adaptado Bragança et al, 2006]

## 4.1. TÉCNICAS DE GESTÃO AMBIENTAL

### 4.1.1. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

A análise do ciclo de vida (ACV) ou Life Cycle Assessment (LCA) surge em 1990 nos Estados Unidos e consiste num método de avaliação dos impactes que um determinado produto ou material têm no meio ambiente ao longo das várias fases do seu ciclo de vida, estabelecendo ligação entre os referidos impactes e as categorias de impacte potencial, no que diz respeito ao consumo de recursos naturais, à ecologia e à saúde humana (fig.18). De uma forma geral, esta análise consiste no levantamento de todos os inputs, como materiais, energia e recursos, assim como dos outputs, ou seja, produtos, subprodutos, emissões, etc., ao longo do todo ciclo de vida, desde a extracção de matérias-primas até ao fim de uso do produto, identificando os potenciais impactes ambientais e interpretando os resultados do processo de estudo.

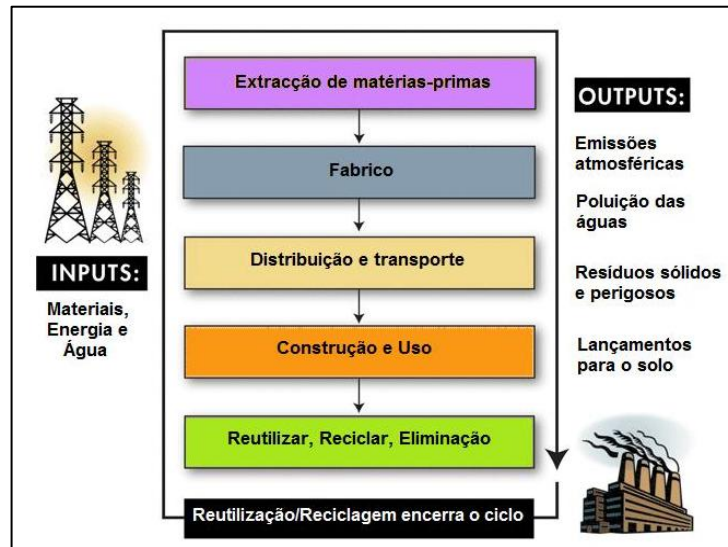


Fig. 18- Fases da metodologia da ACV

A integração da protecção ambiental em cada projecto originou o desenvolvimento de normas no âmbito da Organização Internacional de Normalização (ISO), tendo em conta abordagens de gestão ambiental, incluindo ACV. A ACV integra-se no conjunto de normas ISO 14040 [20]:

- ⇒ ISO 14040: Princípios e estrutura geral
- ⇒ ISO 14041: Definições de objectivos e análise do inventário
- ⇒ ISO 14042: Avaliação do impacto do ciclo de vida
- ⇒ ISO 14043: Interpretação do ciclo de vida
- ⇒ ISO TR 14047: Exemplos para a aplicação da ISO 14042
- ⇒ ISO TS 14048: Formato da apresentação de dados
- ⇒ ISO TR 14049: Exemplos de aplicação da ISO 14041 para definição de objectivos e análise de inventário

Segundo a ISO 14040, a ACV pode ser útil:

- Na identificação de pontos estratégicos de melhoria do desempenho ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida;
- Na informação aos decisores na indústria, seja em organizações governamentais e não governamentais;
- Na selecção de indicadores de desempenho ambiental mais importantes;
- No marketing dos produtos, por exemplo através da rotulagem ecológica, realização de alegação ambiental, etc.

Um estudo de ACV abrange quatro fases, iniciando-se com a fase de definição do objectivo e do âmbito, seguindo-se a fase do inventário do ciclo de vida, onde são registados todos os dados de entrada e saída em relação ao sistema em estudo. A fase de avaliação de impacto do ciclo de vida constitui a terceira fase da ACV e tem por finalidade fornecer informação extra que auxilie a avaliação dos resultados do inventário de um sistema de produto. A fase final deste procedimento designa-se por fase de interpretação e traduz-se numa discussão de resultados de um inventário ou avaliação de impacto isoladamente, ou em conjunto para futuras recomendações, conclusões e tomadas de decisões consoante o objectivo e âmbito proposto.

A ACV acarreta algumas limitações, tais como a análise basear-se em impactes potenciais e não impactes reais ambientais, não consegue distinguir qual o produto ou processo mais eficiente em termos de custo, mas no entanto esta ferramenta pode ser útil como mais uma componente do processo de decisão que tenha em consideração outros factores. Dada a complexidade da ferramenta, estão patentes incertezas na qualidade dos dados e nos seus resultados, subjectividade de quem conduz o estudo, assim como limitações de conhecimento de carácter científico. Salienta-se ainda que não existe uma metodologia única para a realização da ACV, existe flexibilidade para que as organizações desenvolvam esta técnica de gestão ambiental de acordo com os seus requisitos.

Ao longo das várias fases do desenvolvimento dos edifícios, a ACV contribui de modo distinto em cada momento sendo que na fase inicial, de conceito e pré-avaliação, a contribuição é muito geral, podendo recorrer a ponderações ou a guias para melhor optimização das funções e critérios requeridos para o edifício. Durante a fase de concepção, a ACV tem grande utilidade e aplicabilidade pois é nesta fase que são determinados os efeitos e impactes do ciclo de vida do edifício no ambiente. Na fase de construção, os principais efeitos verificados derivam do consumo de materiais e produção de resíduos, sendo essencial dar a conhecer as opções tomadas na fase de concepção sobre a avaliação das consequências ambientais para que as decisões de fornecimento dos materiais sejam mais conscientes em virtude aos tipos de materiais a aplicar e à minimização, reutilização e reciclagem de resíduos. Durante a utilização do edifício pelo utente até à sua manutenção ou renovação, é importante que se tenha em atenção a correcta manutenção e gestão operacional, assim como uma boa escolha de materiais a aplicar na renovação do edifício. Na última fase de um edifício, fase de demolição, as linhas orientadoras são mais adequadas para auxiliar na reciclagem, na reutilização e no envio para os aterros dos resíduos do edifício de uma forma mais eficaz [5].

De acordo com a ISO 14040, nos últimos anos têm sido desenvolvidas duas abordagens distintas à ACV. Uma primeira abordagem atribui fluxos elementares e potenciais impactes ambientais a um sistema de produto específico, enquanto outra analisa os possíveis impactes ambientais de alterações que possam vir a ocorrer entre sistemas de produtos alternativos.

#### 4.1.2. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO (AIA)

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), é um instrumento de carácter preventivo da política do ambiente, sustentado na realização de estudos e consultas, com efectiva participação pública e análise de possíveis alternativas. Esta avaliação garante que os potenciais problemas são previstos e abordados numa fase inicial do planeamento do projecto, bem como a identificação e proposta de medidas que evitem, minimizem ou compensem esses efeitos, tendo em vista uma decisão sobre a viabilidade da execução de tais projectos e respectiva pós-avaliação.

A AIA abrange seis fases distintas:

- **Seleção dos projectos**, onde é necessário verificar a obrigatoriedade de uma AIA<sup>4</sup>;
- **Definição do âmbito**, que constitui uma fase facultativa mas de grande importância para a eficácia do processo de AIA, onde são identificados os possíveis impactes ambientais causados pelo projecto;
- **Estudo de Impacte Ambiental (EIA)**, tem por finalidade identificar e apresentar de modo técnico todos os impactes relevantes do projecto, negativos ou positivos, e de todas as medidas propostas para evitar, minimizar ou compensar os impactes negativos identificados;

---

<sup>4</sup> Estão sujeitos a AIA os projectos incluídos nos Anexos I e II do Decreto-Lei nº 69/2000

- **Apreciação técnica do EIA**, também designada por revisão técnica, tem por objectivo garantir que o EIA enquanto documento técnico não apresenta omissões graves;
- **Decisão**, sendo nesta fase o projecto aprovado ou reprovado. A decisão ambiental sobre a viabilidade do projecto é designada por Declaração de Impacte Ambiental (DIA) e tem carácter vinculativo;
- **Pós-avaliação**, que visa assegurar que os termos e condições de aprovação de um projecto são cumpridos conforme estabelecidos na DIA. Esta fase compreende ainda as actividades de Monitorização e Auditoria, que ocorrem após a emissão da DIA favorável ou condicionalmente favorável sobre o projecto de execução e surgem durante as fases de construção, operação e desactivação do projecto.



Fig. 19- Níveis de avaliação de impactos num edifício [adaptado de Lucas, 2008]

Nesta ferramenta, o foco é colocado na avaliação dos impactos ambientais actuais de um objecto num determinado local e contexto, enquanto a ACV é desenvolvida para avaliar os impactos ambientais potenciais de um produto independentemente do local, do utilizador e do momento em que vai ser usado (conforme fig. 19). Os edifícios como incorporam diversas características inerentes a um dado local e contexto, tornam-se, desta perspectiva, objectos para um estudo de AIA.

#### 4.2. PRINCIPAIS SISTEMAS E FERRAMENTAS DE CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Com a actual consciencialização do ambiente construído e crescente compreensão das cidades, a utilização de ferramentas de avaliação e reconhecimento ambiental tem-se revelado importante para o desenvolvimento sustentável. Avaliar e qualificar o desempenho de um edifício face às melhores práticas e à experiência convencional é a principal mais-valia de uma nova ferramenta de avaliação e certificação da construção sustentável.

Estes instrumentos de avaliação da construção sustentável têm marcado cada vez mais presença nos diferentes países, sendo que em Portugal a implementação não tem sido tão notória, mas no entanto tem-se tornado alvo de estudo, daí o crescimento exponencial das trocas de conhecimento e a coordenação internacional. As ferramentas sofrem constantes evoluções para que sejam corrigidas as suas diversas limitações e para que a sua aplicação seja otimizada. Actualmente, o principal objectivo é desenvolver e implementar uma metodologia consensual que sirva de suporte à concepção de edifícios sustentáveis, que seja ao mesmo tempo prática e suficientemente flexível, para que possa ser facilmente adaptada aos diferentes tipos de edifícios e à constante evolução tecnológica que se verifica no domínio da construção.

Os diferentes métodos de avaliação existentes são de carácter geral e encontram-se orientados para diferentes escalas de análise, desde os materiais de construção, produtos de construção até ao local de implantação do edifício. A variabilidade e subjectividade do peso de cada indicador e parâmetro na avaliação da sustentabilidade, podendo depender da cultura, da economia, da sociedade própria de cada país ou região, tornam o processo mais complexo. Para além disso, a avaliação envolve diferentes tipos de parâmetros, uns quantitativos e outros qualitativos, que nem sempre estão correlacionados entre si e que não se expressam na mesma grandeza.

De seguida serão apresentadas algumas das ferramentas mais utilizadas na avaliação e reconhecimento da sustentabilidade na construção de edifícios, nomeadamente:

- ⇒ **BREEAM** (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), desenvolvido no Reino Unido;
- ⇒ **SBTool** (Sustainable Building Tool), inicialmente conhecido por **GBTool**, desenvolvido por várias equipas a nível internacional;
- ⇒ **LEED** (Leadership in Energy & Environmental Design), desenvolvido nos Estados Unidos da América;
- ⇒ **LiderA** (Sistema português de avaliação ambiental de edifícios), desenvolvido em Portugal.

#### 4.2.1. BREEAM

Este sistema foi o primeiro método de avaliação de desempenho ambiental de edifícios desenvolvido pelo Building Research Establishment (BRE), no Reino Unido, em 1988, tendo sofrido várias alterações ao longo dos tempos de modo a ser aplicado a usos para além da habitação, como por exemplo, escritórios, comércio, unidades industriais, entre outros. A avaliação através da ferramenta BREEAM permite descrever o desempenho ambiental de um edifício à base de atribuição de créditos concedidos em nove categorias distintas, os quais são somados de forma a obter uma única pontuação que classifica o edifício, designado por *índice de desempenho ambiental* [21]. As categorias de avaliação são:

- Gestão do edifício;
- Saúde e Bem-Estar;
- Energia;
- Transporte;
- Consumo de água;
- Materiais e Resíduos;
- Uso do solo;
- Ecologia local;
- Poluição.

Cada categoria acima indicada está dividida em sub-categorias às quais são atribuídos critérios que permitem classificar o edifício em Certificado (Pass), Bom (Good), Muito Bom (Very Good) e Excelente (Excellent).

O BREEAM é uma ferramenta que permite aos diferentes intervenientes na construção, utilização e gestão, melhorar o desempenho ambiental dos edifícios novos ou renovados, encorajar a utilização de boas práticas ambientais em todas as fases dos edifícios e procurar soluções inovadoras que minimizem os impactes ambientais. Permite ainda estabelecer um padrão que demonstre a evolução dos objectivos ambientais e organizacionais das empresas e, distinguir e reconhecer edifícios com reduzidos impactes ambientais no mercado. Existem várias versões do BREEAM, adaptadas ao tipo de construção em causa:

- ⇒ **BREEAM Offices**: avalia novas construções ou renovações em escritórios durante a fase de concepção, construção e uso;
- ⇒ **EcoHomes**: versão para habitações novas ou renovadas;
- ⇒ **BREEAM Industrial**: avalia unidades industriais;
- ⇒ **BREEAM Retail**: avalia edifícios comerciais;
- ⇒ **Bespoke BREEAM**: adequada para outras tipologias.

Para além das versões citadas anteriormente, já existem sistemas específicos para hospitais, escolas, prisões, tribunais, entre outros.

Consoante a categoria em estudo, as ponderações são diferentes, isto é, a categoria energia terá um peso distinto consumo de água e dos materiais a usar. A título de exemplo, no BREEAM EcoHomes, as percentagens atribuídas segundo a Pré-Avaliação expedita (Pre Assessment Estimator, 2006) são as seguintes (fig.20):

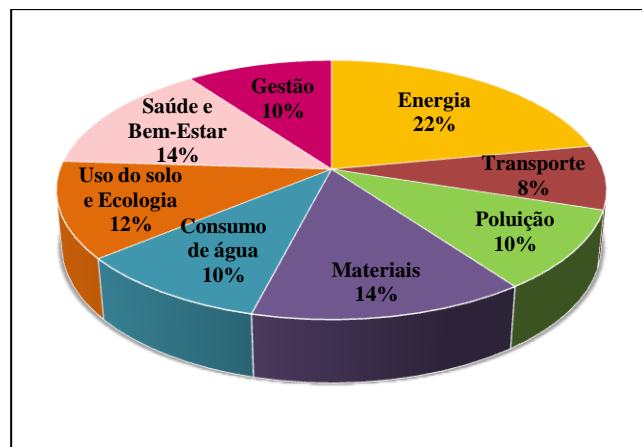


Fig. 20- Ponderação das categorias no EcoHomes

#### 4.2.2. SBTOOL

O SBTool, anteriormente conhecido por GBTool (Green Building Challenge), é uma ferramenta que permite o reconhecimento, a avaliação e a certificação da sustentabilidade de edifícios. O seu desenvolvimento iniciou-se em 1996 tendo resultado de um desafio (challenge) entre os diversos países da Europa, Ásia e América, evoluindo rapidamente para um sistema base na avaliação do

desempenho dos edifícios. Este desenvolvimento foi promovido pela International Initiative for Sustainable a Built Environment (iiSBE) que tem por principal actividade a coordenação do processo internacional Sustainable Building Challenge (SBC), antigamente denominado por GBC. Em Portugal, a iiSBE tem por missão adaptar o SBTool à realidade nacional, avaliando um edifício em relação à melhor prática e à prática convencional [22]. Assim, este sistema de avaliação é constituído por uma estrutura global, mas com adaptações feitas a nível nacional de acordo com critérios nacionais e regionais implementadas pelas equipas de trabalho.

A avaliação ambiental e de desempenho dos edifícios deste sistema consiste em “comparar um edifício (que esteja a ser avaliado) com outro edifício do mesmo tipo, considerado de referência em relação às práticas típicas da região, para o qual os utilizadores inserem os dados de caracterização” (Pinheiro, 2006). Esta avaliação é feita em relação a sete questões, consideradas de desempenho global:

- Consumo de recursos (água, energia, materiais);
- Cargas ambientais (emissões de gases para a atmosfera, resíduos sólidos, etc.);
- Qualidade do ar interior (controlo de poluentes, condições de temperatura e humidade, entre outros);
- Qualidade do serviço (flexibilidade e adaptabilidade a outros usos, por exemplo);
- Aspectos económicos e sociais (avaliação dos custos do ciclo de vida, de construção e de manutenção);
- Gestão pré-utilização (medidas de controlo da qualidade durante o processo de construção, planeamento, formação das equipas de trabalho, etc.);
- Transportes (avaliação da utilização de transportes públicos, pedestres em detrimento do uso exclusivo do automóvel por cada utilizador do edifício).

Através duma escala de desempenho dos níveis de desempenho, são registados os resultados de uma avaliação SBTool. Os valores são atribuídos em relação ao valor que se atribuiu ao mesmo parâmetro no edifício de referência, como prática existente e que se designa de benchmark<sup>5</sup> (ver fig. 21).



Fig. 21- Estrutura do Sistema SBTool<sup>Pt</sup> [fonte: iiSBE Portugal]

O SBTool<sup>Pt</sup> torna os valores dos parâmetros adimensionais, convertendo valores entre a melhor prática e de referência numa escala compreendida entre 0 (valor de referência/convencional) e 1 (melhor valor). Os valores normalizados são convertidos numa escala de A+ a E, conforme a figura 22. As

<sup>5</sup> Benchmarking é um processo contínuo e sistemático, que consiste na identificação dos resultados das melhores práticas utilizadas nos diferentes processos de negócio de modo a avaliar e a comparar as performances das organizações, permitindo também apoiar o processo de melhoria.

dificuldades deste método assentam na definição dos pesos para cada parâmetro e na possível compensação entre parâmetros.

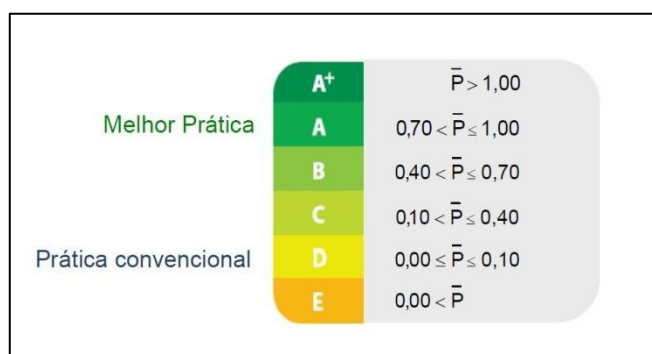


Fig. 22- Escala de desempenho do SBTool<sup>pt</sup> [23]

#### 4.2.3. LEED

LEED é uma ferramenta de avaliação e certificação voluntária de edifícios sustentáveis, desenvolvido pelo USGBC (United States Green Building Council), em 1994. Visivelmente influenciado pelo sistema BREEAM, tendo estrutura e conceitos muito semelhantes, incorporando aspectos de desempenho, onde também há versões para usos específicos de edifícios. Os aspectos avaliados pelo LEED referem-se ao impacto gerado ao meio ambiente em consequência dos processos relacionados ao edifício (projecto, construção e uso). As áreas de avaliação do desempenho contemplam os seguintes aspectos:

- Local de construção sustentável;
- Eficiência no consumo de água;
- Energia e atmosfera;
- Materiais e resíduos;
- Qualidade do ambiente interior;
- Inovação do design;

O método de avaliação consiste na análise da eficiência ambiental potencial do edifício, por meio de pontuações que indiquem sua conformidade aos pré-requisitos presentes na certificação. Conforme o nível de certificação adquirido obtido através da soma dos pontos em cada categoria, o sistema classifica o edifício em “certificado”, “prata”, “ouro” ou “platina”, sendo este último o nível máximo a ser alcançado. As faixas de pontuação e os intervalos considerados para a classificação dos edifícios variam de acordo com o uso e fase do ciclo de vida do edifício [24]. Os edifícios certificados com o sistema LEED utilizam os recursos de forma mais eficiente quando comparados com edifícios convencionais que são simplesmente construídos de acordo com a legislação em vigor.

Tal como o sistema BREEAM, existem, disponíveis, várias versões do LEED destinadas a diferentes utilizações, sendo elas:

- **LEED- NC** (New Construction and Major Renovations): orientado para novas construções comerciais e projectos de renovação;
- **LEED- EB** (Existing Buildings): para operação e manutenção sustentável de edifícios existentes;
- **LEED- CI** (Commercial Interiors): indicado para espaços comerciais interiores;

- **LEED- CS** (Core and Shell Development): abrange construção de elementos dos edifícios, como a estrutura e o esqueleto dos edifícios;
- **LEED- H** (Homes): para habitações;
- **LEED- ND** (Neighborhood development): orientado para o desenvolvimento da envolvente;
- **LEED Schools**: reconhece o carácter único da concepção e construção de escolas;

Em relação ao LEED-H (Homes) foi implementado em 2008 e abrange as áreas de avaliação referidas anteriormente, sendo acrescentado as áreas referentes à educação e sensibilização dos utentes por parte dos construtores e dos profissionais imobiliários e à prioridade regional, obrigando a que o edifício seja localizado e projectado para que se integre, para além de ambientalmente, socialmente na envolvente.

Com a nova versão LEED v3, reformulada em 2009, há um reforço das exigências ao nível do desempenho dos edifícios, quer por um maior número de critérios ou indicadores em cada categoria, quer pelo aumento da pontuação atribuída a alguns indicadores. A diferença entre os pontos atribuíveis em cada categoria nas várias versões LEED também foi reforçada, assim como a inclusão de uma nova categoria, cujos indicadores são definidos de acordo com as práticas regionais/locais. Nesta versão, os critérios pontuáveis somam o total de 100 pontos, sendo que existem mais 10 pontos possíveis de alcançar através das categorias Inovação nos Processos de Planeamento e Questões Regionais (anteriormente somavam um total de 69 pontos), à excepção do LEED-H que soma um total de 108 pontos.

No sistema LEED, ao contrário de outros sistemas de avaliação, não existem diferentes ponderações ou pesos atribuídos às categorias e critérios de avaliação. Cada categoria de avaliação tem o mesmo peso na avaliação, embora algumas das categorias possam dispor de mais indicadores pontuáveis, o que representa um maior contributo para a obtenção da pontuação final [25].

O quadro seguinte (quadro 2) mostra o número total de pontos que são propostos para cada categoria das diferentes versões do LEED, na nova versão LEED v.3 2009.

**Quadro 2- Pontos propostos para as diferentes categorias na nova versão LEED 2009 [25]**

Distribuição de pontos de pontos no LEED 2009	Nova Construção NC	Edifícios Existentes EB	Estrutura e Esqueleto C&S	Interiores Comerciais CI	Escolas K-12	Média por categoria
Escolha de locais sustentáveis	26	26	28	21	24	25,00
Eficiência na gestão da água	10	14	10	11	11	11,20
Energia e atmosfera	35	35	37	37	33	35,40
Materiais e Recursos	14	10	13	14	13	12,80
Qualidade do ambiente interior	15	15	12	17	19	15,60
Inovação nos processos de	6	6	6	6	6	6,00
Questões regionais	4	4	4	4	4	4,00
Total de pontos-Base	100	100	100	100	100	100
Pontos totais	110	110	110	110	110	110

#### 4.2.4. LIDERA 2.0

É um sistema português, também voluntário, de avaliação e reconhecimento da construção sustentável e do ambiente construído, desenvolvido por Manuel Duarte Pinheiro, Doutorando em Engenharia do Ambiente, docente do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico e Director da IPA - Inovação e Projectos em Ambiente, levando à sua publicação em 2005. Desde Março de 2009, encontra-se disponível a versão mais recente do sistema LiderA, a versão 2.0, que permite ser aplicada a empreendimentos de diferentes escalas, desde os edifícios aos ambientes construídos.

A avaliação através da versão 2.0 do sistema LiderA é feita, tendo em atenção as seguintes seis vertentes:

- Consumo de recursos (energia, água, materiais);
- Localização e Integração (solo, ecologia, mobilidade, paisagem, etc.);
- Cargas ambientais (efluentes, emissões no ar, resíduos urbanos, ruído exterior, etc.);
- Ambiente interior (qualidade do ar interior, iluminação natural, conforto térmico, etc.);
- Gestão ambiental e Inovação;
- Vivência Sócio Económica (custos no ciclo de vida, amenidades e interacção social, acesso para todos, entre outros).

As seis vertentes apresentadas anteriormente, subdividem-se em vinte e duas áreas e incluem um conjunto de quarenta e três pré-requisitos e critérios, que permitem avaliar o desempenho ambiental e o respectivo nível de procura da sustentabilidade [26]. A ponderação das seis vertentes da versão LiderA 2.0 referidas anteriormente pode ser observadas na figura seguinte (fig. 23).

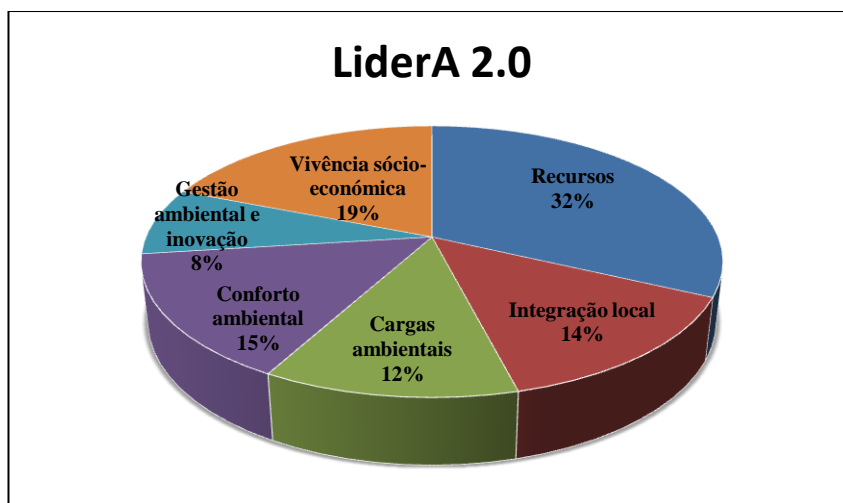


Fig. 23- Ponderação das vertentes [fonte: [www.lidera.info](http://www.lidera.info)]

A avaliação do desempenho para cada critério assenta na melhoria das práticas existentes (classe E), até níveis de boas práticas (de D até A) tal como é usual nos sistemas internacionais. Conforme se pode observar pela figura 24, o LiderA dispõe ainda de classes para níveis de melhorias estruturais (classe A+), neutrais (Classe A++) e regenerativos (Classe A+++). Dado que as classes mais elevadas (A+, A++ e A+++) são consideradas de sustentabilidade forte, torna-se complexo e por vezes economicamente inviável atingir estes padrões, pelo que uma boa solução passa pela redução da pressão ambiental. Este sistema pode ser usado na avaliação e certificação nas diferentes fases dum empreendimento, abrangendo o conceito, o projecto, a construção, a operação e a reabilitação, bem como para as diferentes tipologias (habitação, comércio e serviços, turismo, entre outros) e ainda como apoio à gestão ambiental.

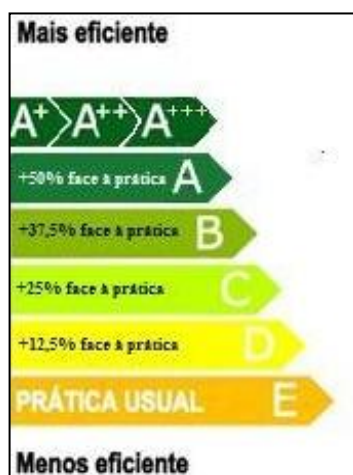


Fig. 24- Níveis de desempenho do sistema LiderA v2.0

A título de curiosidade, no dia 12 de Novembro de 2009, a Câmara Municipal de Lisboa aprovou a redução do Imposto Municipal sobre Imóveis (IMI) em 25 % para edifícios que disponham da certificação energética de classe A, e uma redução de 50% no IMI em imóveis com certificação energética do tipo A+ no âmbito do sistema LiderA. O sistema foi já também adoptado como incentivo da procura de sustentabilidade pelo Município de Santarém e Torres Vedras. Nesses municípios a certificação pelo LiderA permite a redução em 25 % das taxas de operações urbanísticas dos empreendimentos certificados.

### 4.3. PRINCIPAIS SISTEMAS E FERRAMENTAS DE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

No que diz respeito à análise do ciclo de vida dos materiais ou produtos, as ferramentas existentes e que serão abordadas posteriormente são:

- ⇒ **BEES** (Building for Environmental and Economic Sustainability);
- ⇒ **SimaPro7** (System for Integrated Environmental Assessment of Products);
- ⇒ **ECO-QUANTUM**;
- ⇒ **ATHENA** (Green Building Challenge, GBC).

#### 4.3.1. BEES VERSÃO 4.0

O BEES é uma ferramenta cujo desenvolvimento se iniciou em 1994 e que permite aos utilizadores seleccionarem os produtos para uso em projectos de construção, atendendo aos critérios ambientais e económicos (ver quadro 3). É baseado em padrões de consenso e projectado para ser prático, flexível, consistente e transparente. Analisa todas as fases de vida de um produto, desde a aquisição de matérias-primas, fabrico, transporte, instalação, utilização até a gestão de resíduos e mede o desempenho dos produtos de construção usando a abordagem da avaliação pela ACV.

A metodologia BEES utiliza para a análise do desempenho económico o padrão ASTM (American Society for Testing Materials), com uma abordagem pela Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV), incluindo os custos de aquisição, instalação, operação, manutenção, reparação, substituição e eliminação após 50 anos de uso. Para o desempenho ambiental o BEES usa uma aproximação pela ACV, seguindo as orientações da norma ISO 14040. No final ambas as performances são agregadas numa única pontuação, sendo que quanto mais baixa for, melhor desempenho apresenta. O BEES 4.0 actualmente abrange um elevado número de produtos de construção através de uma vasta gama de aplicações funcionais [27].

**Quadro 3- Critérios da ferramenta BEES [28]**

Critérios do sistema BEES		Exemplos de itens considerados no BEES
Critérios ambientais	Aquecimento Global	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
	Chuvas Ácidas	NH <sub>3</sub> , HCl, H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Eutrofização	NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , nitratos, fosfatos
	Depleção Recursos	Carvão, Gás natural, Petróleo
	Qualidade Ar interior	Compostos orgânicos voláteis (COVs)
	Alteração do Habitat	Uso do solo (resíduos de instalação, substituição e eliminação)
	Consumo de Água	Nitrogénios provenientes da agricultura
	Toxicidade Humana	Dióxidos, Arsénio, Benzeno, Fenóis
	Smog	Formaldeído, óxidos de azoto
	Destruição Camada de Ozono	Tetracloroeto de carbono, halogénios
	Toxicidade Ecológica	Hidrocarbonetos, Dióxidos, Cadmium
	Poluentes atmosféricos	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , micro partículas
Critérios económicos	Custo inicial	
	Custos futuros	

Dado que as unidades de medição dos vários critérios são distintas, é utilizada uma análise de decisão multi-critério de modo a obter a pontuação do desempenho global numa escala comum. O uso desta ferramenta apresenta algumas limitações, como por exemplo, o facto de as pontuações do desempenho global não representarem o desempenho absoluto de um determinado produto. Por conseguinte, dado que as pontuações de desempenho são relativas, nenhuma conclusão pode ser tirada comparando apenas as pontuações globais entre elementos de construção, pois importantes custos ambientais e interações entre os elementos de construção podem ser negligenciados.

#### 4.3.2. SIMAPRO7

O Software SimaPro7 foi desenvolvido em 1990 por uma empresa holandesa de consultores (Pré Consultants), e tem por objectivo comparar e analisar produtos com ciclos de vida complexos, processos e serviços. É utilizado pelas grandes indústrias, consultorias e universidades pelo seu carácter flexível e fiável. É uma ferramenta profissional que tem uma série de aplicações, como por exemplo [29]:

- Design de produto;
- Desenvolvimento de indicadores chave de desempenho;
- Cálculo das pegadas de carbono;
- Determinação do impacto ambiental dos produtos ou serviços;
- Declarações de produtos ambientais;
- Relatórios ambientais.

O SimaPro está disponível em três modelos diferentes:

- ⇒ **SimaPro Compact:** usuários orientados para o resultado, que preferem a facilidade de utilização sobre a funcionalidade complexa. A versão educacional do compacto, é designado por Campus ou Classroom;
- ⇒ **SimaPro Analyst:** para os mais exigentes especialistas da ACV, que precisam de todas as funções. A versão educacional desta licença designa-se por “PhD”;

⇒ **SimaPro Developer:** para especialistas que desejam desenvolver o LCA Wizards ou que gostariam de interligar o SimaPro com outro software.

Esta ferramenta inclui a base de dados Ecoinvent que possui dados de vários sectores da indústria, tais como metais, plástico, dados de transporte, etc. É possível abranger aspectos sociais e económicos na avaliação dos produtos e processos. Os critérios de avaliação desta ferramenta são apresentados no quadro seguinte (quadro 4). O sistema de ponderação pode ser definido pelo utilizador, estando à sua disposição diversas alternativas.

**Quadro 4- Critérios de avaliação da ferramenta Simapro7**

Categorias	Critérios de avaliação
recursos	Consumo de combustíveis fósseis
	Consumo de recursos minerais
Qualidade do ecossistema	Uso do solo
	Chuvas ácidas
	Ecotoxicidade
	Alterações climáticas
Saúde humana	Destruição camada de ozono
	Substâncias perigosas
	Efeitos no sistema respiratório
	Radiação ionizante

#### 4.3.3. ECO-QUANTUM

O Eco-Quantum, desenvolvido na Holanda, é um sistema de simulação que permite aos utilizadores identificarem rapidamente as consequências ambientais da escolha de materiais, assim como o consumo de água e energia de um projecto.

Este sistema calcula os impactes ambientais ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, desde o momento da extracção das matérias-primas, produção, utilização em serviço, até à demolição e reutilização. Isto inclui o impacto da energia, a manutenção durante a fase de serviço e as diferenças na durabilidade das partes que fazem parte da construção e que estão relacionadas com o tempo de vida do edifício

No Eco-Quantum, a diversidade de informações sobre o desempenho ambiental dos edifícios é convertida em informação que todas as partes envolvidas nos trabalhos de construção podem usar, desde clientes e funcionários que utilizam o Eco-Quantum como instrumento de política para determinar metas ambientais, a arquitectos que usam o programa para otimizar as condições ambientais dos seus projectos. As autoridades locais e os promotores imobiliários também podem usar o Eco-Quantum para definir critérios de desempenho quantificáveis.

Os critérios de avaliação utilizados pelo sistema Eco-Quantum estão indicados no quadro 5 e seguem a metodologia do sistema de classificação ambiental Holandês [30].

**Quadro 5- Critérios de avaliação do sistema Eco-Quantum**

Critérios	sub-critérios
Recursos naturais	Consumo de energia, água e materiais
Cargas ambientais	emissões atmosféricas, produção de resíduos
Uso do terreno	
Ecotoxicidade	produção de efluentes líquidos

#### 4.3.4. ATHENA

ATHENA é um software norte-americano, desenvolvido pelo Athena Sustainable Institute em 2000 e serve de suporte à decisão de materiais de construção sustentáveis. O software indica as implicações ambientais de diferentes misturas de material ou escolhas de projecto, sendo possível comparar até cinco cenários de projecto em conjunto.

Este sistema tem em atenção os impactes ambientais relacionados com a extração de recursos naturais, o local de construção, tipo de construção, efeitos das emissões de uso de energia, de transportes, manutenção, reparação, assim como efeitos de substituição e demolição.

É uma ferramenta prática, fácil de usar, que proporciona dados ambientais de elevada qualidade, dando assistência nas avaliações necessárias para fazer escolhas ambientais complexas. Tem por base os critérios de avaliação expostos no quadro 6:

**Quadro 6- Critérios de avaliação do software ATHENA**

Critérios	Sub-critérios
Energia ou recurso	Consumo de energia primária incorporada
Impacte ambiental	Potencial de aquecimento global
	Emissões de resíduos sólidos
	Poluentes do ar
	Poluentes da água
	Consumo de recursos naturais

Os dados introduzidos no sistema dizem respeito a descrições genéricas (localização, área bruta, tempo de vida útil do edifício, tipo de construção), selecção das estruturas típicas e das quantidades específicas dos produtos individuais [31].

## 4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE AVALIAÇÃO ANALISADOS

### 4.4.1. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E RECONHECIMENTO DE EDIFÍCIOS

Todos os sistemas de avaliação e apoio à construção sustentável anteriormente referidos e descritos são de grande aplicabilidade e interesse para a certificação ou reconhecimento de empreendimentos

sustentáveis e, intrinsecamente, para estabelecer objectivos ambientais na promoção, concepção e gestão dos mesmos.

No entanto, apresentam diferenças entre si, nomeadamente na análise da sustentabilidade, em que nos sistemas BREEAM, LEED e LiderA o reconhecimento é feito através do cumprimento de todos os pré-requisitos e são atribuídas pontuações de acordo com o desempenho dos empreendimentos. No sistema SBTool a avaliação é feita comparando o desempenho de um edifício ao nível de cada parâmetro com edifícios de referência, o que torna este sistema mais complexo e de aplicação mais morosa do que os anteriores. Diferem também nos critérios de avaliação que dizem respeito aos impactos ambientais do edifício e nos critérios que estão relacionados com o desempenho global da construção, conforme apresentado na tabela resumo (ver quadro7).

Os sistemas analisados também diferem nos objectivos a serem alcançados, apesar de todos terem em comum o objectivo principal de avaliar e reconhecer edifícios sustentáveis. O sistema BREEAM pretende incentivar a utilização das melhores práticas ambientais em todas as fases de um edifício, estabelecendo critérios que vão além daquilo que é imposto na legislação. Tem também por objectivo final distinguir edifícios com reduzido impacte ambiental no mercado. O SBTool destina-se a avaliar qualquer tipo de edifício, seja residencial, comercial, escritórios, etc., em qualquer fase. Permite saber em que áreas são precisas formas de actuação para tornar o edifício mais ecológico, funcionando assim como um guia. O LEED tem por objectivos desenvolver um padrão que melhore o desempenho ambiental e económico dos edifícios, assim como servir de guia para o desenvolvimento sustentável dos edifícios. O sistema português LiderA engloba a maioria dos objectivos citados anteriormente, daí poder ser considerado um sistema de avaliação mais completo e adaptado à realidade do sector da construção nacional. Permite a sua aplicação em vários tipos de edifício, novo ou em renovação, serve também de guia tal como o sistema LEED e define critérios, numa lógica de eficiência, para além dos que se encontram na legislação, tal como o BREEAM.

**Quadro 7- Principais critérios de avaliação e reconhecimento da sustentabilidade de edifícios**

<b>BREEAM</b>	<b>SBTool</b>	<b>LEED</b>	<b>LiderA</b>
Gestão do edifício	Gestão pré-utilização	Inovação e Design	Gestão ambiental e Inovação
Saúde e Bem-estar	Qualidade do ar interior	Qualidade do ar interior	Qualidade do ambiente interior
Energia	Consumo de recursos	Energia e atmosfera	Consumo de recursos
Consumo eficiente de água	Qualidade de serviço	Consumo eficiente de água	Cargas ambientais
Materiais e Resíduos	Cargas ambientais	Materiais e Resíduos	Localização e integração
Uso do solo	Transportes	Local de construção	Vivência sócio-económica
Ecologia Local	Aspectos económico e sociais		
Poluição ar, água e solos			

#### 4.4.2. SISTEMAS DE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Relativamente aos sistemas de análise do ciclo de vida, alguns deles têm por base a tecnologia de construção e materiais enquadrados com os países onde foram desenvolvidos, o que limita a sua utilização quando se pretende analisar soluções alternativas que não são comuns no mercado ou materiais cujo uso não seja habitual, não sendo, por isso, incorporados na base de dados dos sistemas. No entanto, actualmente este obstáculo tem vindo a ser ultrapassado, e sistemas como o BEES, SimaPro7 e ATHENA já têm bases de dados bastante completas, permitindo ainda no caso de o sistema SimaPro7 incluir aspectos sociais nos critérios de avaliação.

Em termos de comparação entre sistemas, o ECO-QUANTUM é muito similar ao ATHENA no que diz respeito à avaliação das escolhas, incluindo ainda dados relativos à manutenção dos edifícios. O sistema BEES, ao contrário dos outros sistemas, permite aos utilizadores comparar diversas soluções construtivas de forma rápida e simples. O SimPro7 destina-se a avaliar produtos com ciclos de vida complexos. É uma ferramenta muito detalhada, que exige um conhecimento muito completo de todo o ciclo de vida dos produtos, o que torna a sua utilização bastante difícil para um utilizador com pouca experiência. Os objectivos dos diferentes sistemas de análise do ciclo de vida encontram-se de um modo resumido no quadro 8.

**Quadro 8- Comparação entre os principais objectivos dos sistemas de análise do ciclo de vida analisados**

<b>BEES v4.0</b>	<b>SimaPro7</b>	<b>ECO-QUANTUM</b>	<b>ATHENA</b>
Permite aos utilizadores seleccionarem os produtos atendendo aos critérios ambientais e económicos, baseado em padrões de consenso	Comparar e analisar produtos com ciclos de vida complexos, processos e serviços	Permite identificar rapidamente as consequências ambientais da escolha de materiais, assim como o consumo de água e energia de um projecto	Incentiva a selecção de materiais e a adopção de estratégias de design para reduzir os impactes ambientais

De uma forma geral os sistemas estudados não permitem a avaliação de materiais, produtos ou partes de um edifício, estão apenas direccionados para a classificação dos edifícios como um todo, sendo o principal objectivo a atribuição de uma pontuação em função da sua sustentabilidade. Como tal, mais à frente será desenvolvido um método expedito para a selecção de materiais de construção tendo por base critérios preponderantes quanto ao seu desempenho sustentável.

Como as ferramentas analisadas anteriormente destinam-se à classificação de edifícios e à análise de ciclo de vida de materiais, produtos ou sistemas, não estão adequadas para avaliar a sustentabilidade de uma solução construtiva. Assim sendo, alguns autores optam por uma adaptação destes sistemas de avaliação, desenvolvendo o seu próprio método de avaliação, como por exemplo a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC), desenvolvida por Ricardo Mateus e Luís Bragança. Nesta metodologia são consideradas três dimensões: ambiental, funcional e económica cujos parâmetros são apresentados no quadro 9 e cujos pesos são, respectivamente, 40%, 40% e 20% na sua aplicação. Na última fase desta metodologia, é representado graficamente, através dum gráfico tipo radar, o valor normalizado dos parâmetros analisados (perfil

sustentável). Deste modo, é possível observar de uma forma clara as diferenças que existem entre o desempenho de cada solução ao nível de cada parâmetro estudado.

**Quadro 9- Parâmetros aplicáveis á metodologia MARS-SC [19]**

Parâmetros		
Ambiental	Funcional	Económico
Potencial de aquecimento global (PAG)	Isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão	Custo de construção
Energia primária incorporada (PEC)	Isolamento térmico	Custo de manutenção
Conteúdo reciclado	Durabilidade	Custo de reabilitação
Potencial de reciclagem	Comportamento ao fogo	Custo de desmantelamento/demolição
Potencial de reutilização	Impermeabilidade	Valor residual
Quantidade de matéria/recursos naturais utilizados	Estabilidade	Custo do tratamento para devolução ao ambiente natural
Toxicidade	Comportamento sísmico	
Acidificação	Construtibilidade	
Eutrofização das reservas de água	Flexibilidade	
Quantidade de água incorporada	Inovação e desenho	



# 5

## APLICAÇÃO NUM CASO DE ESTUDO: PARQUE ESCOLAR DE BRAGA

O estudo de caso que será desenvolvido posteriormente diz respeito à modernização da Escola Secundária Carlos Amarante, localizada na Rua da Restauração em Braga.

Este capítulo tem por objectivo sistematizar propostas de materiais alternativos somente para isolamentos térmicos de paredes, viáveis quer a nível técnico, quer a nível construtivo e caracterizá-los com a aplicação dos critérios ambientais pré-definidos. Será também desenvolvido um método de rápida selecção de materiais de construção atendendo aos critérios relevantes para o seu desempenho sustentável.

### 5.1. ANÁLISE DOS MATERIAIS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO A APLICAR EM OBRA

Após leitura do caderno de encargos referente à obra mencionada, foi possível analisar que materiais serão usados para os isolamentos (exteriores e interiores) das obras de remodelação da escola secundária. No que diz respeito às paredes exteriores, será utilizado o sistema de isolamento pelo exterior (ETICS) com placas de 50mm de espessura de poliestireno expandido (EPS). Relativamente às coberturas planas, o isolamento térmico será realizado com placas de poliestireno extrudido ( $30 \text{ kg/m}^3$ ) com espessura de 100mm. Será também aplicado poliestireno extrudido (XPS) nas coberturas existentes em telhado mas com uma espessura de 80mm e lã de rocha com 120mm de espessura em coberturas especiais (Cobertura de Galerias de Ligação entre Corpos, Cobertura de Oficinas, Cobertura do Gimnodesportivo).

Posteriormente serão analisados com maior detalhe os vários materiais de isolamento referidos, independentemente do local da sua aplicação, isto é, mesmo que o material esteja previsto ser aplicado nas coberturas ou pavimentos para efeitos de isolamento, o tipo de material é que será analisado como se fosse para aplicação de paredes, dado ser o tipo de isolamento térmico escolhido para o estudo. Serão também analisadas as performances ambiental, térmica e económica, tendo sido acrescentado ao estudo a cortiça permitindo a comparação com um material mais ecológico.

#### 5.1.1. CLASSIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE PAREDES EXTERIORES

O isolamento térmico das paredes exteriores pode ser feito pelo exterior, pelo interior, na caixa-de-ar de paredes duplas, em paredes simples, nas duas faces, em cofragem perdida através de placas ou blocos isolantes, com paredes de betão leve isolante e ainda com paredes de alvenaria isolante.

Actualmente, a solução mais comum, eficaz e fácil de aplicar é o isolamento térmico pelo exterior, sendo descrita posteriormente.

#### 5.1.2. ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR (SISTEMA ETICS)

Com a entrada em vigor do primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), o isolamento térmico começou a ser aplicado tanto pelo interior das paredes da envolvente de um edifício, como colocado na caixa-de-ar entre paredes duplas, como ainda ser assente pelo exterior de um edifício. Este último sistema, conhecido na Europa pela sigla ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems), pode ser aplicado sobre paredes de betão, alvenaria de tijolo ou pedra e tem sido amplamente utilizado em novas construções e na reabilitação de edifícios, tornando as construções antigas mais sustentáveis. O isolamento pelo exterior é também utilizado na recente técnica de construção, sistema de fachada ventilada, que consiste num método de acabamento exterior mediante a suspensão de placas que permitem a disposição de uma câmara ventilada entre o isolante e o elemento de acabamento exterior. Dos materiais isolantes existentes no mercado, o poliestireno expandido e extrudado são os mais utilizados neste tipo de sistema (ver fig. 25).

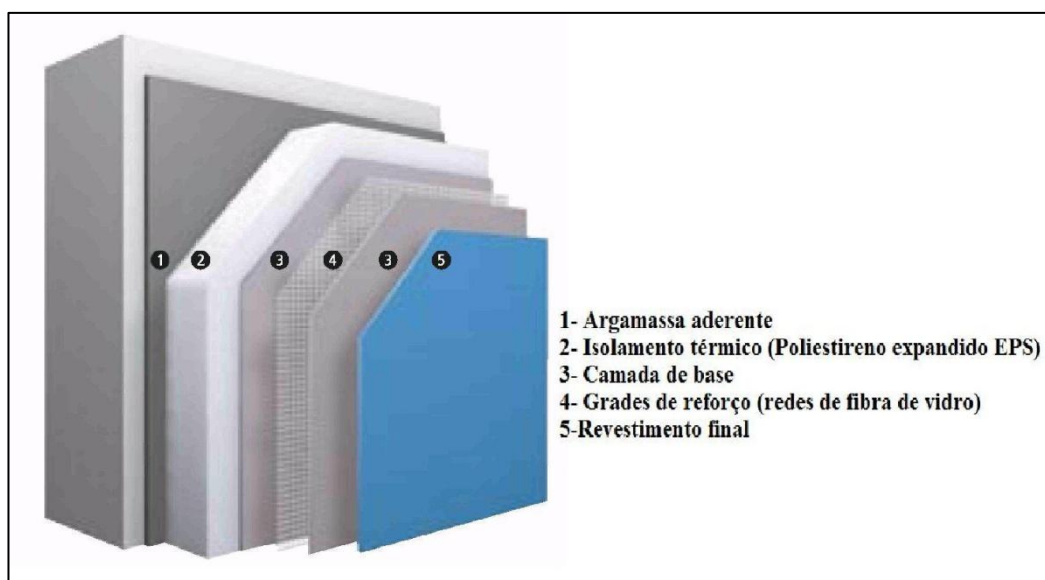


Fig. 25- Fachada com sistema ETICS<sup>6</sup>

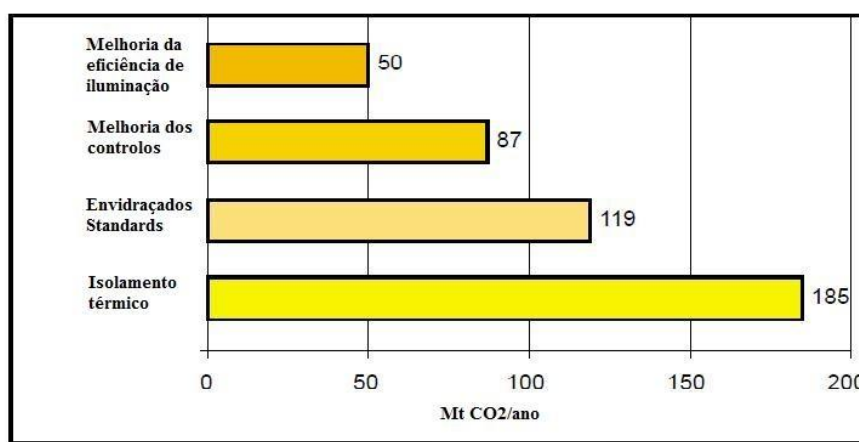
Este tipo de sistema apresenta vantagens como por exemplo, a redução das pontes térmicas e consequentemente redução do risco de condensações, economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior, permite diminuir a espessura das paredes exteriores, possibilitando também uma variedade de soluções de acabamento. O isolamento pelo exterior contribui ainda para a protecção das fachadas do edifício, aumentando a sua durabilidade.

<sup>6</sup> Imagem adaptada do site: <http://www.aboutform.pt/?id=62> (visitado a 10 de Maio de 2010)

## 5.2. MATERIAIS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO

Um isolante térmico é um produto em que a correlação entre a resistência térmica e a espessura é significativamente superior à que pode ser obtida com os materiais de construção correntes, tais como o betão, o vidro, o material cerâmico e a pedra. Estes são caracterizados por apresentarem densidades inferiores a  $150 \text{ kg/m}^3$  e uma condutibilidade térmica inferior a  $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ .

O isolamento é um dos componentes mais importantes do edifício, devido à sua contribuição para a redução do consumo de energia e a poluição daí resultante, bem como para o conforto dos ocupantes dos edifícios. Segundo um estudo publicado pela EuroACE, havendo uma melhoria do isolamento utilizado pode ajudar a diminuir significativamente, até cerca de 185 milhões de toneladas de  $\text{CO}_2$  por ano (ver fig. 26), o que se traduz numa descida de 20% no aquecimento de consumo de energia, no total de 5% das emissões globais da União Europeia [32].



**Fig. 26- Potencial poupança de CO<sub>2</sub> dos isolamentos térmicos em comparação com outras medidas de eficiência na construção**

Para além dos aspectos mencionados anteriormente, durante a última década houve uma crescente preocupação com o ambiente e saúde dos utilizadores face à produção de materiais isolantes, assim como na construção e operação dos edifícios. Na selecção dos materiais a empregar, é necessário existir um bom compromisso entre os custos e a performance térmica, tendo em atenção várias características, tais como uma boa resistência térmica, a durabilidade do isolante, a inércia, uma fraca condutibilidade térmica, a estabilidade dimensional, o seu comportamento à água, a permeabilidade ao vapor, a compressibilidade e o comportamento mecânico, a toxicidade para os utilizadores e, não menos importante, se o material é homologado e com ensaios em laboratórios acreditados.

Actualmente existe no mercado uma grande disponibilidade de diversos materiais para isolamento térmico, distinguidos pelas diferentes origens (mineral, petróleo ou derivados de plantas/animais) e propriedades. Destacam-se os materiais mais utilizados e conhecidos, como por exemplo lã de rocha, lã de vidro, poliestireno expandido (EPS, vulgarmente conhecido por esferovite), poliestireno extrudido (XPS), argila expandida, poliuretano projectado e, recentemente, cortiça. Esta variedade sobrecarrega a responsabilidade de escolha em resposta às condições específicas do projecto, pois métodos de construção diferentes apresentam necessidades de desempenho para o isolamento distintas. Quanto à escolha do material a aplicar, existem critérios importantes que devem ser considerados, para como [32]:

- Escolher um material com boa durabilidade e com um risco de falha mínimo, de modo a potencializar os benefícios da energia e de carbono;

- Quando a espessura é limitada, escolher o melhor isolante térmico que se adequa ao tipo de construção, otimizando o valor da condutibilidade térmica e poupança de energia;
- Optar por um material com potencial zero de destruição do ozono, dada a questão da poluição global.

Para este estudo foram seleccionados apenas alguns materiais para análise comparativa e pormenorizada que constituem as opções de aplicação no caso de estudo: o poliestireno expandido e extrudido, a lã de rocha e a cortiça, que para além de não constituir um material a ser usado no caso de estudo, serve de comparação por ser um material mais ecológico, apresentando-se neste trabalho como um material alternativo.

### 5.2.1. POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O poliestireno expandido, também conhecido por “esferovite”, é um material celular, sintético e rígido, cuja matéria-prima é o poliestireno (PS) expansível, obtido a partir do petróleo por meio de várias transformações químicas. O EPS é bastante utilizado na construção civil como isolamento térmico, mas também como sistema construtivo e outras aplicações (betão aligeirado com granulado EPS, enchimento, etc.). É uma espuma termoplástica, cuja estrutura assenta em esferas cheias de ar produzidas através de vapor de água. No quadro 10 são apresentadas algumas das propriedades para um EPS 200 (30 kg/m<sup>3</sup>) [33].

**Quadro 10- Propriedades do EPS 30 kg/m3**

Propriedades	EPS 200
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	30
Condutibilidade térmica (W/m <sup>0</sup> C)	0,035
Resistência à compressão- deformação < 2% (kPa)	50
Resistência à compressão- deformação 10% (kPa)	200
Resistência à flexão (kPa)	250
Absorção de água por imersão (% volume)	<2
Coef. Dilatação térmica linear (°C <sup>-1</sup> )	5-7x10 <sup>-5</sup>
Estabilidade de forma à temperatura (°C)	85

O uso de EPS na construção apresenta algumas vantagens face às suas características:

- ⇒ **Baixa condutibilidade térmica**, em que a sua estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificultam a passagem do calor conferindo-lhe um grande poder isolante;
- ⇒ **Material leve**, as densidades do EPS variam entre os 10-30 kg/m<sup>3</sup>, permitindo uma redução substancial do peso das construções;
- ⇒ **Elevada resistência mecânica**, apesar da sua leveza;
- ⇒ **Baixa absorção de água e insensível à humidade**, dado ser um material não higroscópico. Mesmo quando imerso em água o EPS absorve apenas pequenas quantidades de água, garantindo o seu comportamento mesmo sob a acção da humidade;
- ⇒ **Fácil manuseamento e colocação**, também devido ao seu peso e não necessitar de ferramentas especiais para a sua colocação;
- ⇒ **Versatilidade**, adaptando-se às necessidades específicas da construção;

- ⇒ **Material durável**, as propriedades do EPS mantêm-se inalteradas ao longo da vida do material, que é pelo menos tão longa quanto a vida da construção de que faz parte;
- ⇒ **Pouco poluente**, o EPS não apodrece nem ganha bolor, não é solúvel em água nem liberta substâncias para o ambiente.

### 5.2.2. POLIESTIRENO EXTRUDIDO (XPS)

O poliestireno extrudido ou XPS é, assim como o EPS, também uma espuma rígida de poliestireno, mas distingue-se do EPS por ser obtida por um processo de extrusão em contínuo e por empregar outros gases expansores. Enquanto o EPS é composto por um conjunto de esferas, o XPS é um material homogéneo, podendo ser aplicado nas paredes e pontes térmicas, coberturas (muito utilizado nas “coberturas invertidas” pela sua resistência mecânica, ambiental e às trocas térmicas) e pavimentos. No quadro que se segue (quadro 11) são apresentadas algumas propriedades do XPS para paredes simples e pontes térmicas [34].

**Quadro 11- Propriedades do XPS 30 kg/m<sup>3</sup>**

Propriedades	XPS
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	30
Condutibilidade térmica (W/m <sup>0</sup> C)	0,037
Resistência à compressão- deformação < 2% (kPa)	–
Resistência à compressão- deformação 10% (kPa)	250
Resistência térmica (m <sup>2</sup> K/W)	0,85-1,40
Absorção de água por imersão (% volume)	<1,5
Coef. Dilatação térmica linear (°C)	7x10 <sup>-5</sup>
Temperaturas de serviço (°C)	-50 a +75

Actualmente, na sua produção já não são utilizados CFC's ou HCFC's responsáveis pela degradação da camada de ozono. Algumas das vantagens do uso deste tipo de isolamento são:

- ⇒ **Boa resistência mecânica**, superior à do EPS no que diz respeito à compressão quando se atinge 10% de dformação;
- ⇒ **Resistência à humidade**, resistente à absorção da água e a sua capilaridade é nula. São muito resistentes à difusão do vapor de água e não são afectadas por ciclos repetidos de gelo-degelo;
- ⇒ **Resistência biológica**, não ganha bolor nem quaisquer outras eflorescências;
- ⇒ **Durável**, quando adequadamente aplicadas, a vida útil das placas XPS é estimada em período de tempo igual ao da vida útil do edifício ou construção em que se inserem;
- ⇒ **Material reutilizável e reciclável**.

### 5.2.3. LÃ DE ROCHA

A lâ de rocha provém de fibras minerais de rochas vulcânicas, e pode apresentar-se em forma de placa ou manta. Tal como a lâ de vidro, é um material de isolamento flexível, leve, de fácil instalação, incombustível e com excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico, não sendo tão

utilizado como os poliestirenos, anteriormente referidos, para o isolamento térmico de fachadas. Actualmente também é utilizada lã de rocha projectada pela necessidade de aplicação a diferentes tipos de situações e locais, principalmente aqueles de difícil acesso. Algumas das propriedades da lã de rocha são apresentadas no quadro 12.

**Quadro 12- Propriedades do isolante térmico Lã de Rocha [9]**

Propriedades	Lã de Rocha
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	120
Condutibilidade térmica (W/m°C)	0,037/0,040
Resistência à compressão (kg/cm <sup>2</sup> )	0,2
Resistência à flexão (kg/cm <sup>2</sup> )	1,8
Resistência à tracção normal ao nível da placa (kg/cm <sup>2</sup> )	0,85 a 1,40
Absorção de água (kg/m <sup>2</sup> )	<1,0
Temperaturas de serviço (°C)	200 a 130

Resumidamente, a lã de rocha tem por vantagens:

- ✓ **Ser incombustível** e ter estabilidade mecânica até à temperatura de 750°C;
- ✓ **Excepcional nível de absorção acústica e excelente comportamento térmico;**
- ✓ **Absorção nula**, não retém água devido à sua estrutura não capilar;
- ✓ **Durável**, não se altera com o passar dos anos;
- ✓ **Permeável ao ar**, pois permite a passagem do ar;
- ✓ **Grande elasticidade**, recupera sempre a espessura original após retirada a força deformadora;
- ✓ **Não favorece a proliferação de fungos ou bactérias.**

#### 5.2.4. AGLOMERADO DE CORTIÇA EXPANDIDA

O Aglomerado de Cortiça Expandida, deriva de uma matéria-prima totalmente natural e renovável, a cortiça, cuja extracção da árvore de sobreiro se enquadra no seu ciclo de vida. Este material apresenta como mais-valia poder ser totalmente reciclado e biodegradável, sendo a sua aplicação ainda pouco utilizado como isolamento térmico. A produção deste material utiliza apenas vapor de água aquecido, em geral recorrendo a geradores de vapor alimentados com os próprios resíduos da trituração e de acabamentos (pó de cortiça). Não são introduzidos no seu fabrico quaisquer aglutinantes, colas, aditivos ou agentes de expansão externos à própria cortiça natural e eventualmente perigosos durante a aplicação, uso ou remoção no final da vida útil. Algumas das suas características podem ser consultadas no quadro 13.

**Quadro 13- Características médias do aglomerado expandido de cortiça [35]**

Propriedades	Aglomerado Expandido de Cortiça
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	100-140
Condutibilidade térmica (W/m <sup>o</sup> C)	0,038/0,040
Coefficiente de expansão térmica (20°C)	25-50x10 <sup>-6</sup>
Pressão máxima em condições elásticas (kPa)	50
Tensão de rotura à flexão (daN/cm <sup>2</sup> )	1,4-2,0
Tensão de rotura à tracção transversal (daN/cm <sup>2</sup> )	0,6-0,9
Deformação sob temperatura (80°C)	1,4 a 2,4% (espessura)

A Cortiça, sendo um material natural, apresenta várias vantagens na sua utilização, sendo algumas delas descritas seguidamente:

- ⇒ É um material de isolamento térmico, acústico e anti-vibrático;
- ⇒ Tem como matéria-prima uma fonte renovável e 100% natural;
- ⇒ É processo industrial natural (sem aditivos);
- ⇒ Apresenta durabilidade ilimitada, sem perda das suas características;
- ⇒ Material totalmente reciclável;
- ⇒ Apresenta excelente estabilidade dimensional (mesmo quando sujeita a elevadas variações térmicas).

### 5.3. DESEMPENHO DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO CONSIDERADOS NO ESTUDO DE CASO

#### 5.3.1. EM TERMOS TÉRMICOS

As propriedades térmicas dos materiais usados para fins de isolamento, tais como a capacidade de absorver ou emitir calor solar, o valor do coeficiente de transmissão e condutibilidade térmica, entre outros, condicionam todo o desempenho térmico da envolvente de um edifício. Segundo o ITE 50 editado pelo LNEC, são considerados “isolantes térmicos os materiais e produtos que apresentam uma condutibilidade térmica inferior a 0,065 W/(m.°C) e uma resistência térmica superior a 0,030 (m<sup>2</sup>.°C)/W”.

Para efeitos de análise do desempenho térmico dos vários materiais, foi avaliado o valor da condutibilidade térmica, isto é, capacidade de um dado material conduzir calor, sendo que quanto mais baixo for este valor, melhor desempenho tem e menor espessura será necessária para obter um bom isolamento. Os valores apresentados na figura seguinte foram obtidos a partir da consulta a fichas técnicas disponíveis em diversos fornecedores de isolamentos, correspondendo ao valor declarado da condutibilidade térmica (ver fig. 27).

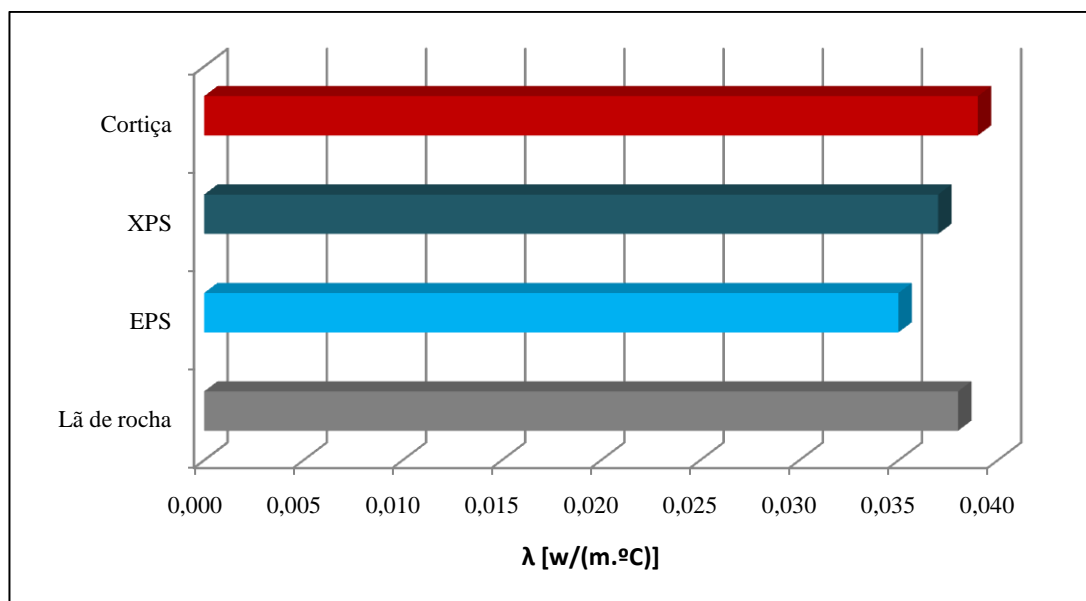


Fig. 27- Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) dos materiais em estudo

### 5.3.2. EM TERMOS AMBIENTAIS

Na comparação das características ambientais dos materiais em estudo é de grande interesse analisar, quer a energia e o carbono incorporado nos materiais, quer as emissões para o ar, água e solo, permitindo observar qual o material que mais contribui para a poluição e devastação do meio ambiente natural.

Os valores da energia incorporada (figura 28), e do carbono incorporado (figura 29), referem-se à produção de 1 kg de material tendo sido obtidos através da consulta da base de dados de materiais de construção ICE versão 1.6 (Inventory of Carbon and Energy) [36] e da base de dados do programa Design Builder.

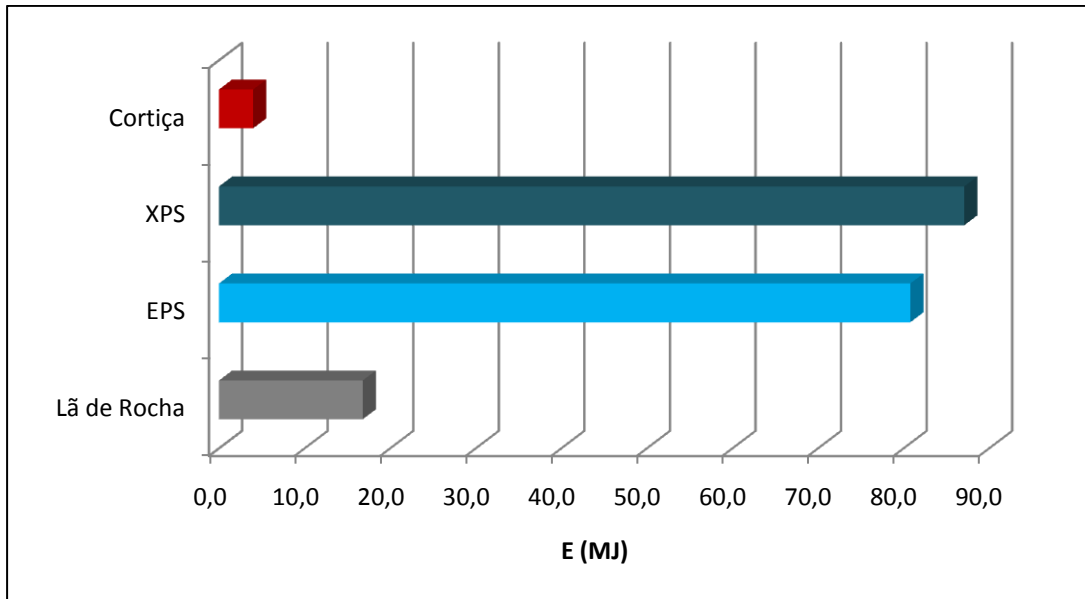


Fig. 28- Energia incorporada na produção de 1 kg dos materiais em análise

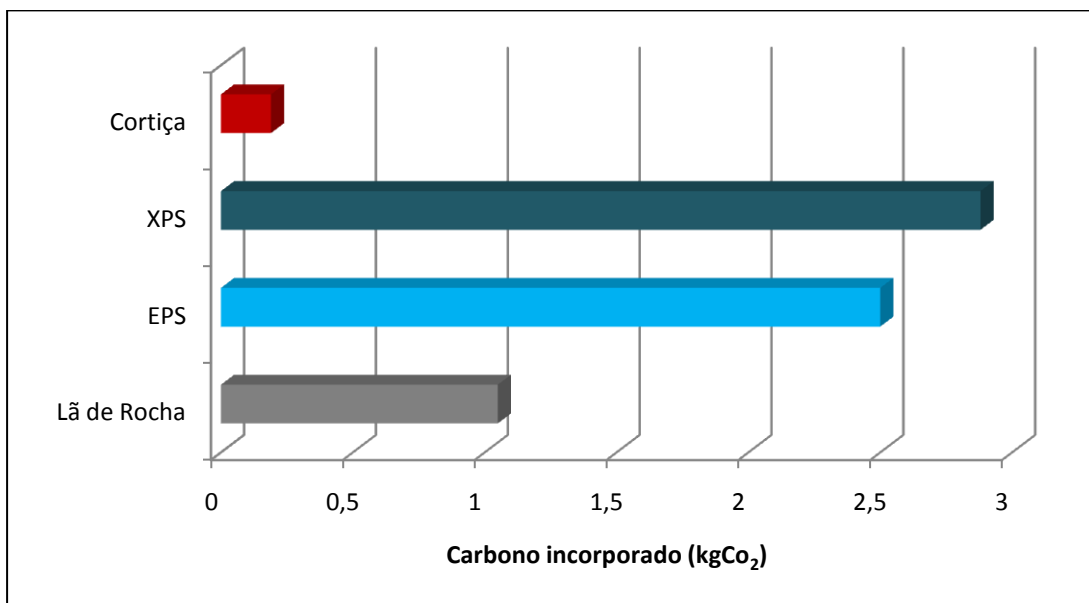


Fig. 29- Carbono Incorporado por kg de material em estudo

A análise e comparação do contributo dos materiais em estudo para o potencial aquecimento global (PAG), destruição da camada de ozono e poluição do solo e água têm, também, como referência 1kg de material produzido. Os valores da figura que se segue (ver fig. 30) dizem respeito ao somatório de poluentes como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e nitratos (NO<sub>x</sub>) [15].

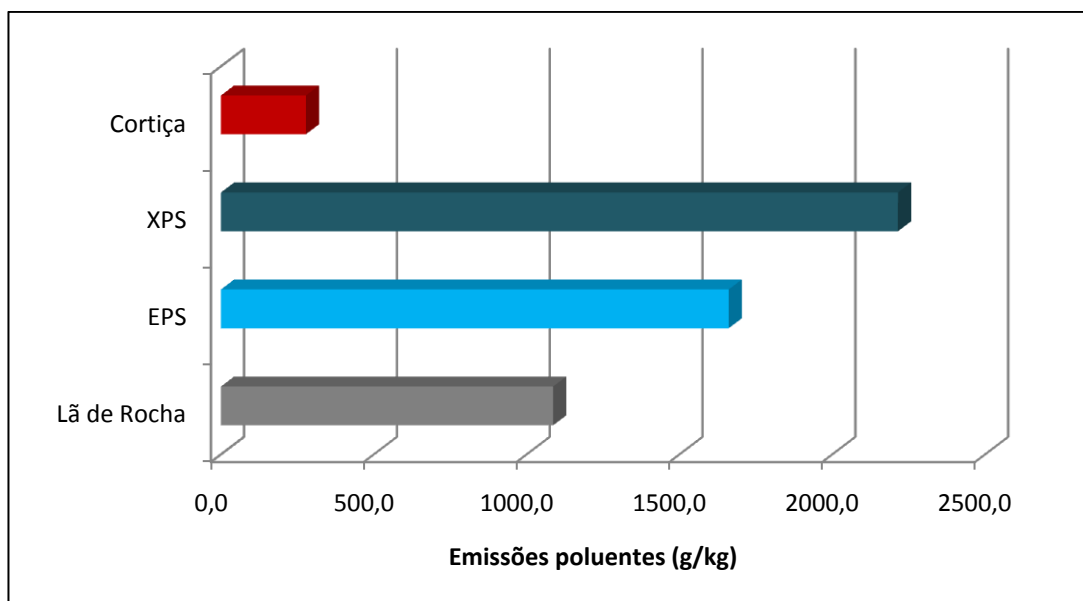


Fig. 30- Somatório das emissões para o ar, água e solo

### 5.3.3. EM TERMOS ECONÓMICOS

Para além das características e propriedades ambientais e funcionais, também é um factor de peso para a sustentabilidade na construção, o custo inerente a cada solução a adoptar. A análise económica de cada material deve ter em conta todos os custos envolvidos com o seu ciclo de vida, não apenas o custo de construção, pois ligeiros agravamentos no custo inicial podem ser traduzidos em lucros significativos ao nível dos custos envolvidos com a operação e manutenção.

A estimativa do custo de cada tipo de material foi obtida através da consulta a vários fornecedores, representando uma média do custo, sem IVA, para as várias densidades e para uma espessura constante de 50 mm, conforme se pode observar na fig. 31.

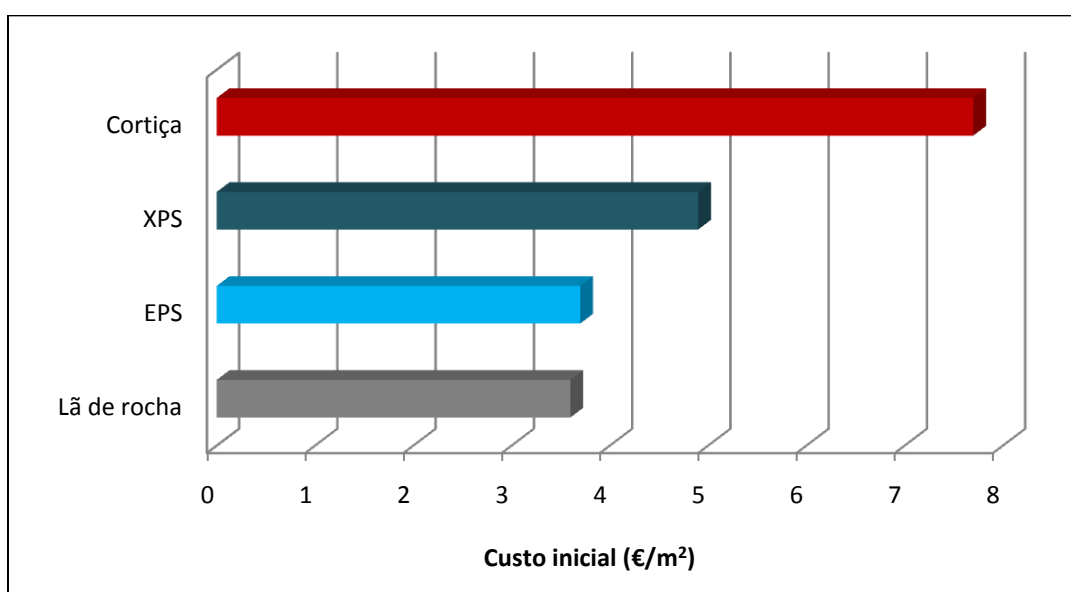


Fig. 31- Custo inicial por m<sup>2</sup> dos materiais em estudo

Em suma, os materiais com melhor desempenho térmico, isto é, com boas características de isolamento são o poliestireno expandido (EPS) e extrudido (XPS) por apresentarem uma baixa condutibilidade térmica. No entanto, são os materiais que mais contribuem pela negativa para o desempenho ambiental pelos valores elevados de energia e carbono incorporados. A lã de rocha e, principalmente, a cortiça, apesar de não terem uma performance tão favorável como os materiais referidos anteriormente na condutibilidade do calor, apresentam-se como potenciais materiais pelas vantagens ambientais, destacando-se pela baixa energia e carbono incorporado. Relativamente às emissões para o ar, água e solo, destaca-se a cortiça por ser aquele material que acarreta menores consequências, ao contrário do poliestireno extrudido (XPS).

O uso comum do EPS e XPS nos isolamentos térmicos deriva, principalmente, do factor económico, dado que em termos de investimento inicial o seu custo é mais atractivo do que a cortiça, por exemplo. No que diz respeito ao custo inicial da cortiça, é bastante mais elevado do que os outros materiais, mas como Portugal é o maior produtor de cortiça, a sua origem é local permitindo estimular a economia portuguesa e poupar custos de transporte.

No quadro resumo que se segue (quadro 14) apresentam-se algumas das características mais relevantes dos materiais em estudo.

	<b>Matéria-Prima</b>	<b>Durabilidade</b>	<b>Energia incorporada</b>	<b>Reciclável</b>	<b>Biodegradável</b>	<b>Toxicidade</b>
<b>Cortiça</b>	Extraída da casca do sobreiro	Média	Baixa	Sim	Sim. É um produto 100% natural	Não prejudica a saúde
<b>XPS</b>	Combustíveis fósseis-derivados de produtos petroquímicos	Média	Elevada	Sim	Não	Libertação gases na sua combustão
<b>EPS</b>	Combustíveis fósseis-derivados de produtos petroquímicos	Baixa/Média	Elevada	Sim	Não	Libertação gases que provocam irritação
<b>Lã de rocha</b>	Rochas vulcânicas	Média	Baixa	Sim	Não	Libertação de gases na sua combustão; Emite substâncias perigosas na sua instalação

Quadro 14- Tabela resumo de algumas características dos materiais em estudo [12]; [15]

# 6

## MÉTODO EXPEDITO PARA AVALIAÇÃO E SELECÇÃO DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

De forma a avaliar os materiais de isolamento em estudo tendo em conta os critérios ambientais definidos no capítulo 4 (quadro 15), foi considerada a metodologia utilizada no sistema de classificação LiderA, subdividindo os critérios já referidos pelas diferentes vertentes (ver quadro 16). A avaliação pode ser realizada através de uma escala pré-definida, resultando uma única pontuação final para cada material que permitirá uma fácil e simples comparação. Uma escala possível e que será adaptada neste estudo será dividida em três categorias:

- -1: o critério não é cumprido, ou seja, não satisfaz;
- 0: o critério cumpre os requisitos mínimos, ou seja, satisfaz;
- 1: o critério cumpre todos os requisitos, ou seja, satisfaz bastante

Os critérios ambientais considerados relevantes na construção sustentável estão ordenados de forma aleatória no quadro que se segue, correspondendo a cada um uma numeração.

**Quadro 15- Critérios ambientais relevantes (abordados no cap.4)**

Critérios	
1	Materiais que contribuem para a eficiência energética dos edifícios
2	Materiais com baixa energia incorporada e de fácil processamento
3	Materiais com elevada durabilidade e reduzidas operações de manutenção
4	Materiais com origem em recursos renováveis e naturais
5	Materiais reciclados e recicláveis
6	Materiais produzidos localmente
7	Materiais com baixa toxicidade para os utilizadores
8	Materiais com reduzidas emissões de poluentes para o ambiente

A correspondência entre as vertentes do sistema LiderA e os critérios seleccionados encontram-se no quadro abaixo.

**Quadro 16- Correspondência entre as vertentes do sistema LiderA e os critérios definidos**

Vertentes	Áreas	Pesos (%)	Sub-área	Critério correspondente
Consumo de recursos	Energia	17%	Desempenho energético	1 e 2
	Materiais	5%	Materiais locais	6
			Materiais reciclados e renováveis	5
			Materiais de baixo impacto	4
			Durabilidade	3
Cargas ambientais	Emissões atmosféricas	2%	Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	8
Conforto ambiental	Qualidade do ar	5%	Emissão de poluentes (toxicidade para os utilizadores)	7

Após a correspondência com as vertentes do sistema LiderA, os materiais em estudo serão avaliados segundo as sub-áreas ambientais e ecológicas já definidas. As pontuações atribuídas às várias sub-áreas tiveram por base as propriedades descritas no subcapítulo 6.2, as características apresentadas no quadro resumo e informação retirada do livro “The ecology of building materials”, do autor Bjorn Berge, sendo apresentadas nos quadros seguintes (quadro 17, 18, 19 e 20).

**Quadro 17- Pontuação final da avaliação do aglomerado de cortiça**

Cortiça			
Sub-área	Pontuação	Pontuação x Pesos (%)	Justificação
Desempenho energético	1	1x17%=17%	Material com baixa energia incorporada, compensando a elevada condutibilidade térmica
Materiais locais	1	4x5%=20%	Portugal e Espanha são os principais países produtores de cortiça
Materiais reciclados e renováveis	1		Material reciclável e biodegradável
Materiais de baixo impacto	1		Material com matéria-prima renovável e natural
Durabilidade	1		Boa durabilidade, sem perda das suas características iniciais; Resistente a fungos e à penetração de líquidos
Substâncias com PAg e afectação da camada de ozono	1	1x2%=2%	Reduzidas emissões de poluentes e baixos níveis de carbono incorporado
Emissões de poluentes (toxicidade para os utilizadores)	1	1x5%=5%	Processo industrial natural, sem aditivos, sem libertação de substâncias nocivas para a saúde dos utilizadores
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>44%</b>	

**Quadro 18- Pontuação final da avaliação do poliestireno extrudido**

<b>Poliestireno extrudido (XPS)</b>			
<b>Sub-área</b>	<b>Pontuação</b>	<b>Pontuação x Pesos (%)</b>	<b>Justificação</b>
Desempenho energético	0	0x17%=0%	Material com elevada energia incorporada; valores mais baixos de condutibilidade térmica (boa eficácia como isolamento térmico)
Materiais locais	-1	0x5%=0%	O XPS provém do petróleo
Materiais reciclados e renováveis	1		Material reutilizável e reciclável
Materiais de baixo impacto	-1		Material com origem em combustíveis fósseis, recurso que é limitado
Durabilidade	1		Boa durabilidade
Substâncias com PAg e afectação da camada de ozono	-1	(-1)x2%=-2%	Elevadas emissões de poluentes e níveis de carbono incorporado, apesar de na sua produção já não serem utilizados CFC's ou HCFC's
Emissões de poluentes (toxicidade para os utilizadores)	1	1x5%=5%	Libertação de gases nocivos apenas na sua combustão, não ao longo do ciclo de vida
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>3%</b>	

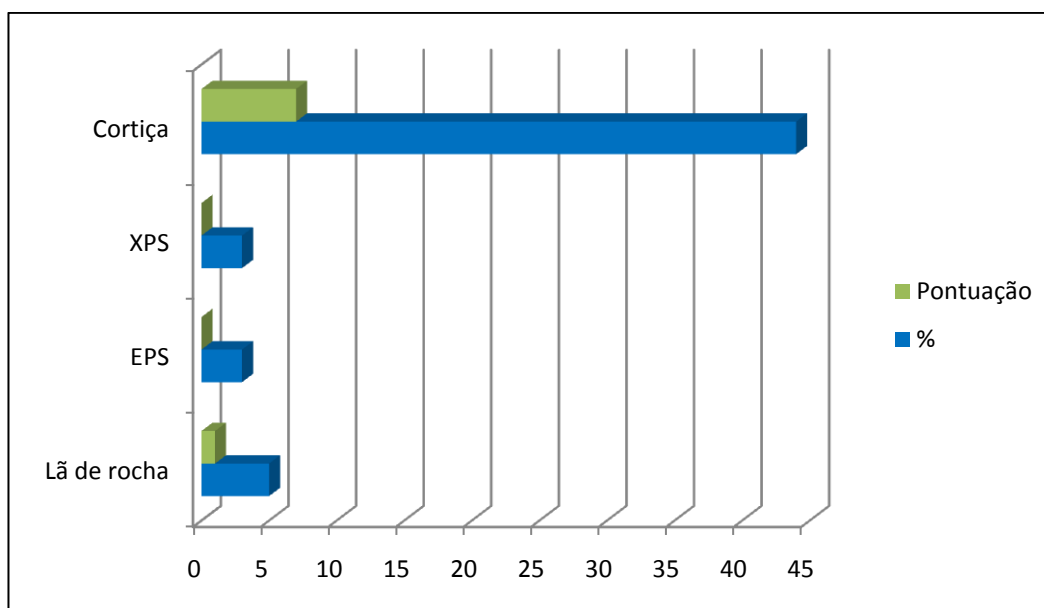
**Quadro 19- Pontuação final da avaliação do poliestireno expandido**

<b>Poliestireno expandido (EPS)</b>			
<b>Sub-área</b>	<b>Pontuação</b>	<b>Pontuação x Pesos (%)</b>	<b>Justificação</b>
Desempenho energético	0	0x17%=0%	Material com elevada energia incorporada; valores mais baixos de condutibilidade térmica (boa eficácia como isolamento térmico)
Materiais locais	-1	0x5%=0%	O XPS provém do petróleo
Materiais reciclados e renováveis	1		Material reciclável e reutilizável
Materiais de baixo impacto	-1		Material com origem em combustíveis fósseis, recurso que é limitado
Durabilidade	1		Boa durabilidade
Substâncias com PAg e afectação da camada de ozono	-1	(-1)x2%=-2%	Elevadas emissões de poluentes e níveis de carbono incorporado, apesar de na sua produção já não serem utilizados CFC's ou HCFC's
Emissões de poluentes (toxicidade para os utilizadores)	1	1x5%=5%	Não há libertação de gases nocivos ao longo da vida útil
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>3%</b>	

**Quadro 20- Pontuação final da avaliação da lã de rocha**

Lã de Rocha			
Sub-área	Pontuação	Pontuação x Pesos (%)	Justificação
Desempenho energético	0	0x17%=0%	Material com energia incorporada relativamente baixa; bom isolamento térmico, dado os valores de condutibilidade térmica
Materiais locais	-1	1x5%=5%	Este material provém de rochas vulcânicas
Materiais reciclados e renováveis	0		Material reciclável, podendo incorporar material reciclado
Materiais de baixo impacto	1		Matéria-prima abundante
Durabilidade	1		Boa durabilidade, não favorecendo a proliferação de bactérias e fungos
Substâncias com PAG e afectação da camada de ozono	0	0x2%=0%	Níveis médios de emissão de poluentes e de carbono incorporado
Emissões de poluentes (toxicidade para os utilizadores)	0	0x5%=0%	Libertação de gases tóxicos na sua combustão; Experiências apontam para problemas transitórios de pele, comichões e irritação das vias respiratórias quando não são tomadas medidas de protecção adequadas na sua instalação
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>5%</b>	

Na figura 32 é possível observar e comparar as pontuações finais, bem como as percentagens obtidas com os pesos definidos no sistema LiderA.



**Fig. 32- Análise comparativa das pontuações e percentagens obtidas para cada material**

Pela análise da figura, destaca-se novamente a cortiça, sendo o material com melhores pontuações no geral, ao contrário dos poliestirenos que não apresentam um desempenho energético, nem ambiental tão competitivo como a lã de rocha e a cortiça. Porém, numa análise de sustentabilidade, se atendermos também ao factor económico, a cortiça é penalizada pelos seus elevados custos iniciais, dando vantagem aos poliestirenos e à lã de rocha.

## 6.1. MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO ALTERNATIVOS

Um dos objectivos a atingir pela União Europeia foca-se em diminuir a quantidade de CO<sub>2</sub> produzido actualmente, de modo a evitar piores consequências do que aquelas a que o mundo tem vindo a assistir, nomeadamente no que diz respeito ao aquecimento global, à saturação dos recursos naturais não renováveis e destruição da camada de ozono, para que haja uma contínua estabilidade do ambiente global.

É neste sentido que apostar em produtos de isolamento naturais, é apostar na preservação do ambiente, reduzindo os impactos do CO<sub>2</sub> na atmosfera, entre outros efeitos nefastos. Os benefícios destes materiais são ainda mais acentuados após a instalação. Têm a capacidade de "respirar", o que significa que podem absorver a humidade do ar, resultante da actividade humana e das condições meteorológicas, e libertá-la novamente quando o ar está mais seco, mantendo a humidade relativa do ar estável, num nível confortável para os utilizadores. Quando aplicados correctamente, os materiais de isolamento natural garantem um bom desempenho e durabilidade, satisfazendo ainda os requisitos principais da sustentabilidade. Usualmente, para além das boas capacidades térmicas, também apresentam boas características ao isolamento acústico.

Neste subcapítulo pretende-se dar a conhecer materiais alternativos aos mais vulgarmente utilizados nas construções, como aqueles que foram estudados anteriormente. Serão indicados e caracterizados apenas alguns materiais não convencionais que tenham menores impactos ambientais do que os utilizados no caso de estudo, sendo feito um estudo de comparação de performance somente para alguns materiais escolhidos.

### 6.1.1. FIBRAS DE CÂNHAMO INDUSTRIAL

O cânhamo resulta da aglomeração de fibras de cânhamo, ligeiramente comprimidas, originando placas flexíveis, ou de cânhamo misturado com fibras de algodão reciclado ou de fibras de madeira, sem qualquer tipo de ligante, estando apenas sujeito a um tratamento anti-fogo (ver fig.33). As fibras exteriores do cânhamo podem ser utilizadas como isolamento térmico e acústico, apresentando boas características físicas e ambientais, descritas seguidamente:

- ⇒ É um material de origem biológica e de carácter ecológico;
- ⇒ Material leve, tornando-o benéfico para reabilitações;
- ⇒ Material plantado, tendo origem em Portugal (apesar de não ser o maior produtor);
- ⇒ Não é inflamável, nem não liberta gases tóxicos;
- ⇒ Durável e resistente a fungos e bactérias;
- ⇒ Material higroscópico;
- ⇒ Reciclável, renovável e biodegradável;
- ⇒ Permite a respiração natural das construções, evitando a ocorrência de condensações;
- ⇒ Condutibilidade térmica varia entre os 0,038 e 0,040 W/m.°C;
- ⇒ Resistência à compressão varia entre os 200 e 500 kPa.



**Fig. 33- Matérias-primas do Cânhamo para construção e isolamentos<sup>7</sup>**

Em termos ambientais, o uso deste material minimiza as emissões de CO<sub>2</sub> e de produtos tóxicos, contribuindo ainda para o crescimento da actividade agrícola pelo cultivo anual da planta. Apresenta baixos valores de energia consumida que se verificam durante a plantação, colheita e extracção das fibras exteriores, não envolvendo processos químicos.

#### 6.1.2. ISOLAMENTO DE CELULOSE

A celulose é composta principalmente de papel de jornal reciclado, papelão, cartão e outros resíduos de produtos de papel tratados com químicos, geralmente com uma mistura de bórax e ácido bórico, para obtenção de propriedades de resistência ao fogo, para repelir fungos e insectos e para evitar o crescimento orgânico (ver fig. 34). É considerado um dos materiais de isolamento com maior percentagem de conteúdo reciclado, até 85%, prevenindo a poluição proveniente da decomposição da sua matéria-prima caso fosse depositada num aterro. De um modo geral, as principais características deste material são [37]:

- ⇒ É produzido a partir de fontes renováveis;
- ⇒ É um material com baixa energia incorporada;
- ⇒ Contém elevados níveis de material reciclado e é reciclável;
- ⇒ Pode ser produzido localmente, apostando em programas de reciclagem;
- ⇒ Não produz gases tóxicos significativos, quer para os utilizadores, quer para o ambiente;
- ⇒ Condutibilidade térmica varia entre os 0,038 e 0,040 W/m.°C;
- ⇒ Boa durabilidade (só se verifica decomposição em condições de elevada humidade por tempo prolongado [38]).



**Fig. 34- Amostra de isolamento de celulose**

<sup>7</sup> Imagem retirada do site: <http://www.hempcompany.ie/node/186> (visitado a 27 de Maio de 2010)

Este tipo de isolamento é versátil, podendo ser aplicado em coberturas, paredes e pavimentos, sejam interiores ou exteriores, através da sua projecção, injeção ou insuflação consoante a especificidade de cada estrutura.

### 6.1.3. LÃ DE OVELHA

O uso de produtos de origem animal e de origem vegetal apresentam os mesmos impactos ambientais, nomeadamente, o uso de recursos renováveis, facilmente decompostos, com quantidades baixas de energia envolvida na sua produção e níveis baixos de poluição. No que diz respeito à lã de ovelha, é um produto 100% natural, de pura lã, sendo apenas tratada com Bórax, mineral não tóxico, garantindo melhor resistência ao fogo e aos insectos (ver fig. 35). O principal benefício do uso deste material centra-se na capacidade de absorver e restituir a humidade do ar circundante sem comprometer a sua eficiência térmica. É considerado um dos materiais mais “verdes” usados na construção, apresentando várias vantagens entre elas [39]:

- ⇒ Material biodegradável e renovável, reduzindo a pegada de carbono;
- ⇒ Reduzidos consumos de energia na produção;
- ⇒ Não tóxico para os utilizadores, livre de CFC's e HCFC's;
- ⇒ É bastante resistente ao fogo, não favorecendo a combustão em caso de incêndio (ponto de inflamação muito elevado, de 560 °C);
- ⇒ Material adquirido localmente;
- ⇒ Condutibilidade térmica de 0,039 W/m.°C;
- ⇒ Boa durabilidade, quando correctamente instalado e tratado, repelindo insectos e bactérias.



Fig. 35- Esquema ilustrativo do ciclo de vida da lã de ovelha

Ambientalmente, é um material com potencial de aquecimento global abaixo de zero e não representa qualquer perigo para a destruição da camada do ozono. Existem isolamentos com lã de ovelha, no Reino Unido, que possuem um certificado de aprovação que verificam a conformidade deste produto de carácter inovador, com os regulamentos de construção e outros requisitos legais<sup>8</sup>.

### 6.1.4. ISOLAMENTO DE LINHO

Provém da planta do linho, uma espécie que não necessita de pesticidas durante o seu desenvolvimento. No fabrico do material de isolamento são utilizadas as fibras curtas do linho, às

<sup>8</sup> Certificado emitido pelo British Board of Agément (BBA), representante do Reino Unido na Organização Europeia de Aprovações Técnicas (EOTA), ao fornecedor de isolamentos com lã de ovelha Second Nature UK Ltd. Ver certificado no link: [http://www.bbacerts.co.uk/PDF/3950i1\\_web.pdf](http://www.bbacerts.co.uk/PDF/3950i1_web.pdf)

quais é incorporado poliéster (ver fig. 36). Apresentam-se na forma de painéis, granel e rolo com condutividade térmica semelhante, mas com capacidade térmica variável. Existem poucas empresas na Europa Ocidental produtoras de isolamento baseado em linho e operam em escala relativamente pequena, portanto, têm custos de produção mais elevados do que as grandes fábricas de isolamentos convencionais (por exemplo fibra de vidro e poliestirenos. Apesar do custo mais elevado, a procura de isolamento à base de fibras de linho tem vindo a crescer na Europa, em média cerca de 40% ao ano [40].

- ⇒ Material 100% natural e facilmente decomposto;
- ⇒ Origem em recursos renováveis;
- ⇒ Tratamento com químicos ambientalmente amigáveis para repelir insectos e bactérias;
- ⇒ Evita condensações e permite a construção “respirar”;
- ⇒ Processamento mínimo durante o fabrico, isto é, baixa energia incorporada;
- ⇒ É um material não tóxico e não irritante ao toque;
- ⇒ Seguro e fácil de instalar;
- ⇒ Condutibilidade térmica de 0,037 W/m.°C;
- ⇒ Boa durabilidade.



**Fig. 36- Isolamento de linho**

Este material, apesar de natural, tem algum peso na contribuição para o aquecimento global devido, essencialmente, ao seu cultivo com fertilizantes artificiais de modo a ser economicamente mais sustentável, favorecendo as emissões de CO<sub>2</sub>, prejudicando o meio ambiente.

#### 6.1.5. FIBRAS DE MADEIRA

A fibra de madeira é obtida por desfibrização do serrim e aparas das serrações (madeira não tratada), um material natural, reciclável e renovável, ao qual também pode ser adicionado cimento originando os painéis cimento de lã de madeira (ver fig. 37). Este material comercializa-se em granel, rolos ou painéis flexíveis ou rígidos, estes em diferentes tamanhos e espessuras, que podem ser utilizados no isolamento de paredes interiores e exteriores, pavimentos e tectos. Apresenta algumas vantagens, no seu uso nas construções como:

- ⇒ Produzido a partir de recursos renováveis e naturais;
- ⇒ É um material reciclável e incorpora materiais reciclados;
- ⇒ Também é um material higroscópico, prevenindo condensações;
- ⇒ Consegue absorver e reter elevados níveis de formaldeído, contribuindo para uma boa qualidade do ar interior;
- ⇒ Condutibilidade térmica varia entre 0,042 e 0,050 W/m.°C;
- ⇒ Elevada durabilidade, cerca de 75 a 100 anos [41].



Fig. 37-Lã de madeira

Este material destaca-se nos países em desenvolvimento pelo baixo custo face às qualidades térmicas e resistentes e também pela sua leveza, facilitando a sua aplicação nas habitações. Os isolantes compostos por fibras de madeira podem apresentar melhores valores de isolamento térmico se for utilizado como ligante mineral o cimento, impedindo a penetração da água, a degradação biológica e aumentando a resistência ao fogo.

Existem outros materiais alternativos para além destes materiais ecológicos apresentados, tal como as fibras de coco ou isolamento de palha que ainda não estão muito divulgados no mercado, não existindo muitos estudos acerca do seu comportamento térmico e ambiental ao longo do ciclo de vida, nem sobre a sua viabilidade técnica/construtiva.

## 6.2. COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E AMBIENTAL DOS MATERIAIS ALTERNATIVOS

Após a apresentação de alguns materiais não convencionais para isolamento térmico, segue-se uma análise da condutibilidade térmica (fig. 38), da energia incorporada (fig. 39) e poluição proveniente dos mesmos (fig. 40), tal como foi feita para os materiais de isolamento do estudo de caso. Dos materiais alternativos referidos, apenas serão analisados o isolamento de celulose, as fibras de madeira e lã de ovelha. Os dados foram obtidos a partir da consulta da base de dados ICE, de fornecedores de materiais e da consulta bibliográfica.

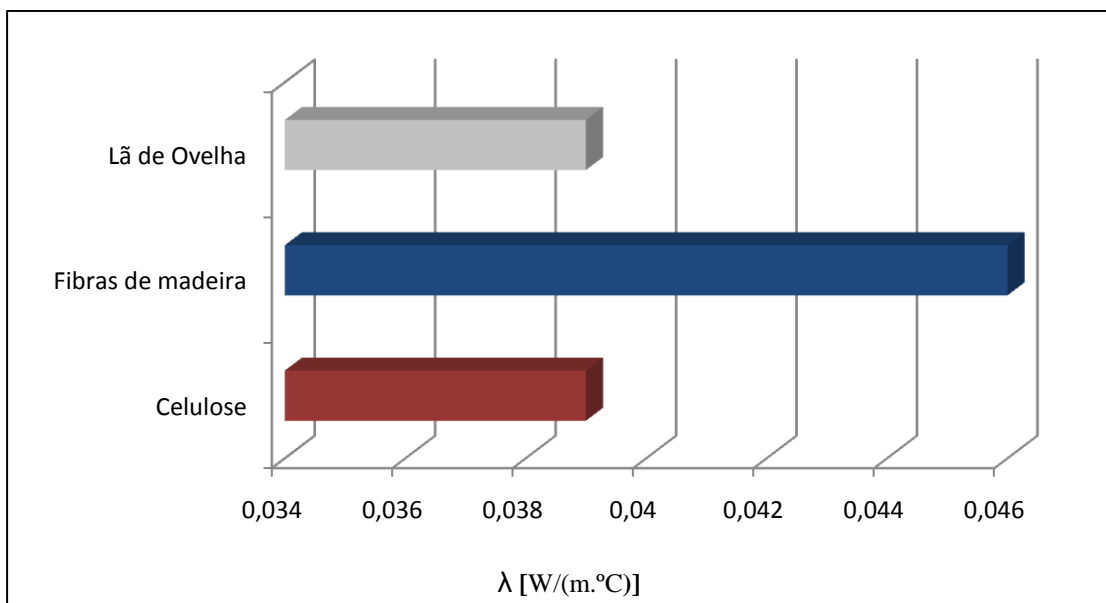


Fig. 38- Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) dos materiais alternativos em estudo

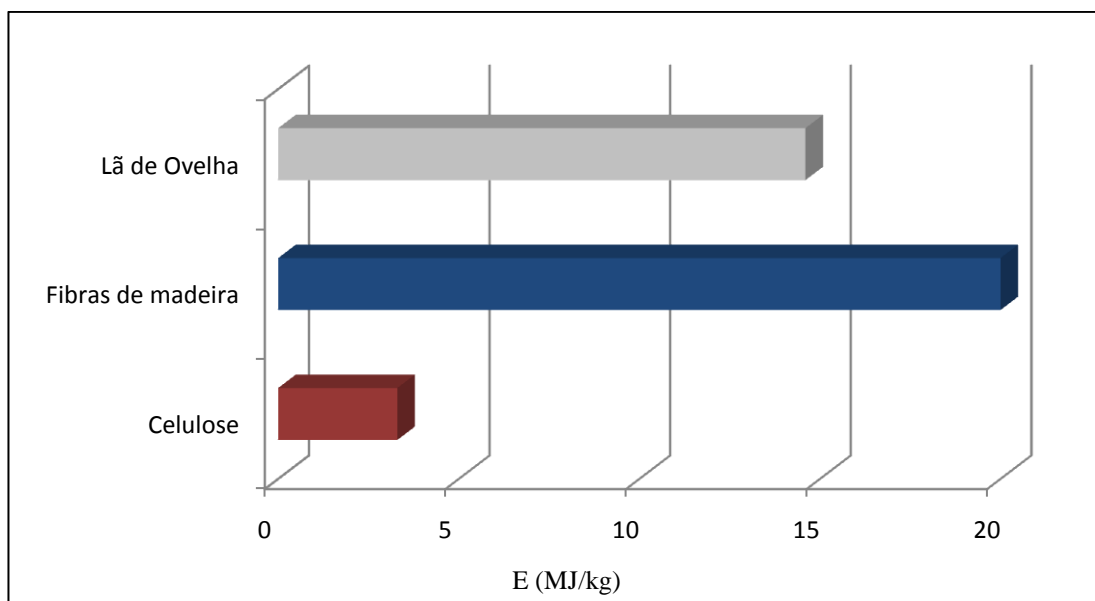


Fig. 39- Energia incorporada nos materiais alternativos

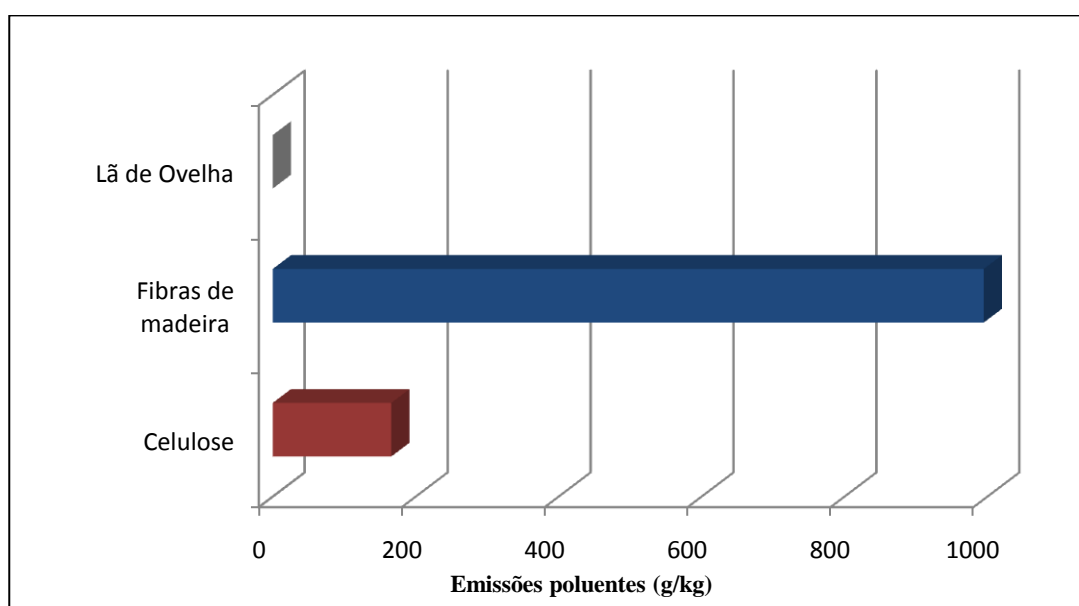


Fig. 40- Somatório das emissões para o ar, água e solo dos materiais alternativos

De um modo geral, todos os materiais naturais, aqui apresentados como alternativos são uma boa escolha para isolamentos térmicos dada as baixas emissões de poluentes e baixa energia incorporada. Relativamente à eficiência térmica, quer a celulose, quer a lã de ovelha são as melhores opções apresentando valores mais baixos de condutibilidade térmica, isto é, boa resistência às transferências de calor. O material energeticamente mais eficiente pela análise da figura 38 é a celulose, seguindo-se a lã de ovelha e as fibras de madeira. Porém, estes valores podem aumentar significativamente para a lã de ovelha com o transporte de países onde a sua produção e utilização está mais implementada do que em Portugal, como é o caso dos países do norte da Europa (Inglaterra, Escócia, Irlanda). No que diz respeito às emissões de poluentes, a lã de ovelha destaca-se por ter um impacto negativo nulo no meio ambiente, podendo eventualmente existir pequenas quantidades de poluição da água e do solo

pelo uso de alguns fertilizantes na sua produção. A celulose também apresenta valores baixos de poluição e, apesar do valor das fibras de madeira ser mais elevado, quando em comparação com os materiais habitualmente usados na construção, continua a ser um material menos agressivo para o ambiente.

Após a comparação de algumas performances dos materiais ecológicos e análise das suas características relevantes, será feita a caracterização destes com a aplicação dos critérios críticos pré-definidos nos quadros seguintes (quadro 21, 22 e 23), tal como foi feito para os materiais convencionais anteriormente analisados. Os dados foram obtidos a partir da pesquisa bibliográfica e da base de dados ICE.

**Quadro 21- Pontuação final da avaliação do isolamento de celulose**

Celulose			
Sub-área	Pontuação	Pontuação x Pesos (%)	Justificação
Desempenho energético	1	1x17%=17%	Material com baixa energia incorporada; bom isolamento térmico, dado os valores de condutibilidade térmica
Materiais locais	0	3x5%=15%	Pode ser produzido localmente, no entanto o material é importado
Materiais reciclados e renováveis	1		Material reciclável, contendo elevada quantidade de material reciclado
Materiais de baixo impacto	1		Matéria-prima abundante
Durabilidade	1		Boa durabilidade, quando aplicado correctamente
Substâncias com PAg e afectação da camada de ozono	1	1x2%=2%	Níveis baixos de emissão de poluentes (cerca de 160 g/Kg) e sem incorporação de carbono
Emissões de poluentes (toxicidade para os utilizadores)	1	1x5%=5%	Não produz gases tóxicos significativos para os utilizadores
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>39%</b>	

**Quadro 22- Pontuação final da avaliação do isolamento de fibras de madeira**

Fibras de madeira			
Sub-área	Pontuação	Pontuação x Pesos (%)	Justificação
Desempenho energético	0	0x17%=0%	Material com valores médios de energia incorporada; valor de condutibilidade térmica elevado, isto é, fraca resistência térmica
Materiais locais	0	3x5%=15%	Pode ser produzido localmente, no entanto o material é importado
Materiais reciclados e renováveis	1		Material reciclável, contendo material reciclado
Materiais de baixo impacte	1		Matéria-prima abundante e renovável (árvores)
Durabilidade	1		Boa durabilidade, material dimensionalmente estável ao longo do ciclo de vida
Substâncias com PAG e afectação da camada de ozono	-1	(-1)x2%=-2%	Níveis médios/altos de emissão de substâncias com PAG (cerca de 980 g/Kg) e com alguma incorporação de carbono
Emissões de poluentes (toxicidade para os utilizadores)	1	1x5%=5%	Não produz gases tóxicos significativos para os utilizadores
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>18%</b>	

**Quadro 23- Pontuação final da avaliação do isolamento de lã de ovelha**

Lã de Ovelha			
Sub-área	Pontuação	Pontuação x Pesos (%)	Justificação
Desempenho energético	1	1x17%=17%	Material com valor baixo/médio de energia incorporada; valor de condutibilidade térmica razoável, bom isolamento térmico
Materiais locais	0	3x5%=15%	Pode ser produzido localmente, no entanto o material é importado do Reino Unido onde a sua produção está mais implementada
Materiais reciclados e renováveis	1		Material reciclável e biodegradável
Materiais de baixo impacte	1		Matéria-prima renovável e 100% natural
Durabilidade	1		Boa durabilidade, quando a lã é correctamente tratada e instalada
Substâncias com PAG e afectação da camada de ozono	1	1x2%=2%	Não representa qualquer perigo para a camada do ozono e ainda ajuda a reduzir a pegada de carbono
Emissões de poluentes (toxicidade para os utilizadores)	1	1x5%=5%	Não tóxico para os utilizadores, livre de CFC's e HCFC's
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>39%</b>	

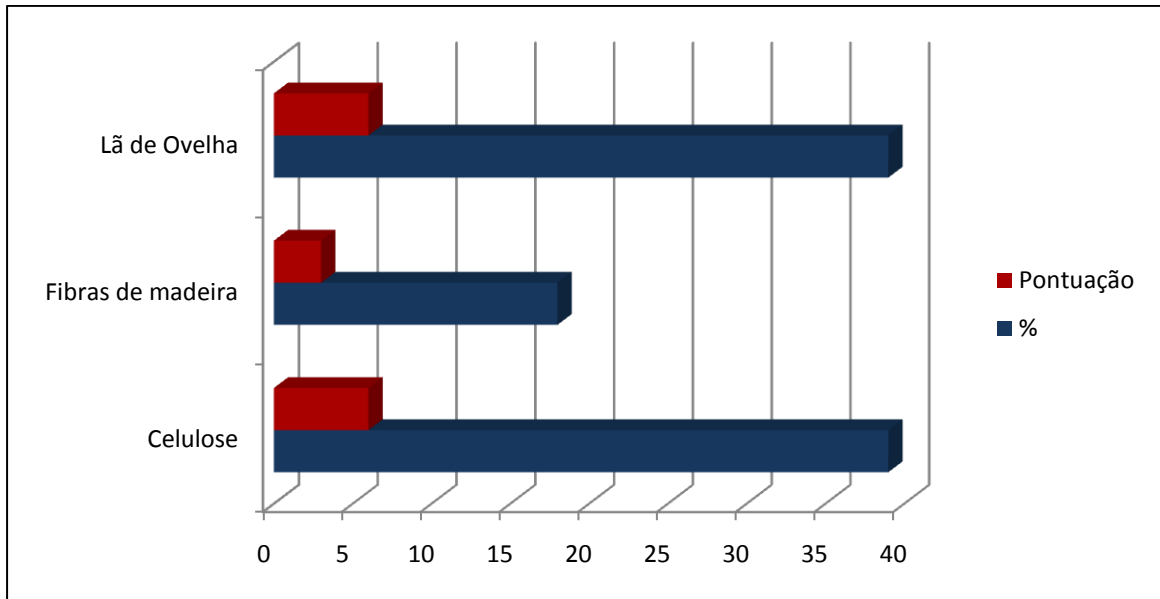


Fig. 41- Análise comparativa das pontuações e percentagens obtidas para os materiais alternativos

Pela análise da figura 41, os materiais com melhores pontuações no geral, isto é, os materiais alternativos com menores impactos ambientais e ecológicos foram a lã de ovelha e a celulose. No entanto, se à análise ambiental e térmica adicionarmos também o factor económico (ver fig. 42), a celulose é o material com maior custo inicial, contrariamente à lã de ovelha, que apesar de não ser muito utilizada nem divulgada apresenta um custo inicial atractivo para material natural. De referir que os custos apresentados na figura derivam de empresas que comercializam estes produtos e correspondem a uma espessura constante de 50mm, podendo variar com os fornecedores dado que para este tipo de materiais existe ainda pouca informação acessível e muito poucas empresas portuguesas a apostar neste tipo de isolamentos.

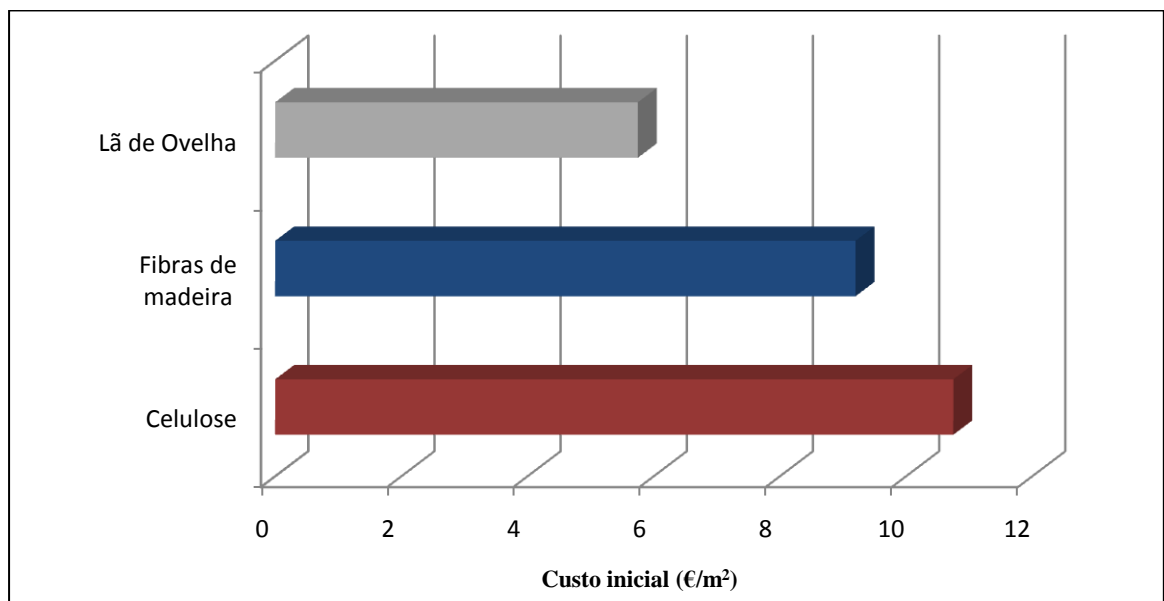


Fig. 42- Custo inicial por m<sup>2</sup> dos materiais alternativos em análise

O esquema que se segue (fig. 43) permite observar a sequência de todos os materiais de isolamento referidos, desde o material menos aconselhável, pelos impactos negativos para a sustentabilidade apenas na vertente ambiental, até ao material mais favorável. A disposição apresentada tem por base os valores obtidos nos somatórios das emissões para o ar, água e solo, representando uma ordem preferencial dos materiais a aplicar em obra.

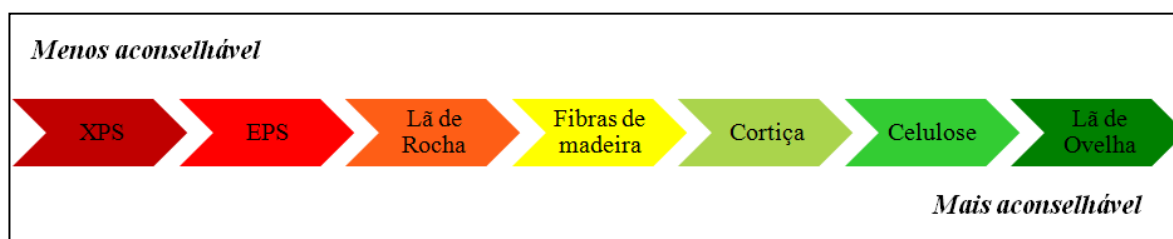


Fig. 43- Sequência ambiental dos materiais de isolamento referidos

Se o mesmo raciocínio for feito para a vertente económica, atendendo apenas aos custos iniciais de investimento por m2, apresentados anteriormente, obtém-se o seguinte fluxograma (fig. 44):

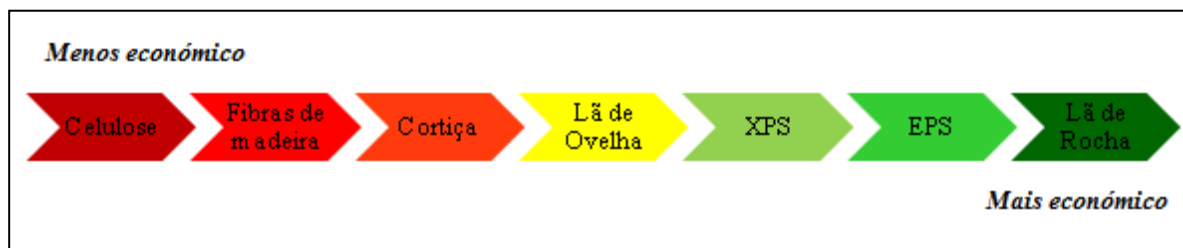


Fig. 44- Sequência económica dos materiais de isolamento referidos

Comparando os dois esquemas, não existe um material que seja totalmente sustentável, isto é, o material mais ecológico não corresponde ao material mais económico, e vice-versa. No entanto, a lã de ovelha, a cortiça e a lã de rocha são materiais que garantem alguma sustentabilidade abrangendo quer a vertente ambiental, quer a vertente económica simultaneamente. Para serem materiais ainda mais aptos à construção, a primeira necessidade foca-se apenas em diminuir a condutibilidade térmica, nomeadamente da cortiça, que se encontra ligeiramente superior aos restantes materiais.

# 7

## CONCLUSÕES

Visto que ao longo deste trabalho foram feitos comentários aos aspectos mais relevantes e específicos de cada tema em análise, não serão novamente referidos nem repetidos, sendo apenas feita uma observação global do trabalho, enfatizando modos de melhoria da sustentabilidade na construção.

Após a panorâmica geral sobre o desenvolvimento sustentável no mundo e seus conceitos, foi analisado, em particular, a sustentabilidade na construção e impactes ambientais e ecológicos consequentes da evolução das práticas de edificação neste sector. Nos últimos anos, na indústria da construção, a vertente económica predominou sobre a preservação ambiental e a qualidade, levando aos elevados níveis de destruição e poluição do meio ambiente, levando a uma mudança urgente do paradigma que caracteriza este sector. Como tal, a utilização de materiais de construção mais ecológicos, mais duráveis, com menor energia incorporada ou recicláveis constituem alternativas para atingir uma maior sustentabilidade. Neste contexto, foram identificados oito critérios críticos, ambientais e ecológicos considerados relevantes no conceito do desenvolvimento sustentável para a selecção dos materiais de construção.

Em Portugal, contrariamente a alguns países europeus, o despertar para estas questões ambientais foi dado pela recente implementação de mecanismos com vista a incentivar e estimular a construção sustentável, recorrendo a sistemas de avaliação ambiental, como o sistema LiderA. Este tipo de sistema, tem por base a integração do ambiente na dinâmica do empreendimento quer a nível estratégico, quer nível operacional, isto é, ao longo do ciclo de vida. No contexto europeu, os programas e ferramentas disponíveis destinam-se sobretudo à avaliação das escolhas feitas para um dado projecto como um todo, não comparando materiais, em termos de desempenho ambiental, que não estejam enquadrados no projecto de um empreendimento. No que diz respeito às ferramentas de análise do ciclo de vida, apesar de terem sido alvo de melhorias, como o BEES e o SimaPro7, as suas bases de dados ainda não abrangem materiais pouco convencionais nos respectivos países, nem produtos considerados alternativos, o que dificulta e limita as suas aplicações em estudos de caso. Esta perspectiva de sustentabilidade e preocupação com o ambiente deve ser equacionada pelos vários intervenientes, desde projectistas, construtores a utilizadores, considerando a sua pormenorização, para cada área e vertente, em termos de critérios que possam ser utilizados para desenvolver soluções ambientalmente mais adequadas.

Com vista a desenvolver um método simplificado e mais orientado para a selecção de materiais de construção atendendo aos critérios considerados relevantes quanto ao desempenho sustentável, foi adaptado um sistema de classificação tendo em conta os princípios e metodologias utilizadas no sistema de avaliação da sustentabilidade português, LiderA. Aplicando este método aos materiais de construção de uma obra seleccionada, neste caso o parque escolar de Braga, apenas no que diz respeito a isolamentos térmicos, dado existirem poucos estudos em relação a estes, foi possível compará-los e atribuir-lhes pontuações de modo a visualizar as melhores opções. O mesmo procedimento foi elaborado para materiais alternativos, de origem natural, demonstrando que estes materiais naturais têm uma contribuição muito positiva no desempenho ambiental, e um bom comportamento no conforto térmico quando utilizados no isolamento dos edifícios. Alguns materiais de origem natural, como a lã de ovelha, não implicam um investimento inicial muito superior aos materiais mais usuais,

como o EPS e XPS, e contribuem a uma larga escala para a preservação do meio ambiente. Assim como a cortiça, que a única desvantagem é o seu custo inicial mais elevado, mas atendendo ao tempo de vida útil do edifício, apresenta-se como um material durável e protector do ambiente. De um modo geral, esta metodologia desenvolvida compara os diversos materiais através das pontuações e permite analisar qual o material com melhor desempenho sustentável.

Os utilizadores são cada vez mais exigentes e preocupados com as causas ambientais a nível mundial, dando relevância às questões de sustentabilidade dos edifícios ao longo do seu ciclo de vida antes de os ocupar. A divulgação e a incorporação de materiais mais ecológicos nos empreendimentos traduz-se num maior benefício e mais-valia, mesmo que o investimento inicial seja superior, pois é compensado na redução do consumo energético do edifício quando comparado com as soluções mais usuais. Um dos entraves do pouco uso de materiais sustentáveis na construção deve-se à falta de informação, originando, por vezes, opiniões distorcidas da realidade, levando à ideia de que estes materiais são mais caros e não tão eficazes. O uso dos materiais mais habituais em obra, como o EPS e XPS, em Portugal, deve-se ao facto de, para além de serem mais económicos, existir uma grande oferta e acessibilidade no mercado, mas também devido à mentalidade de se usar o tradicional, não apostar na inovação e no desenvolvimento.

De salientar que, este trabalho tem por destaque a necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta flexível, fácil de entender pelos diversos intervenientes no mercado da construção e adaptada ao contexto português (em termos climáticos e industriais), tendo uma base de dados o mais completa possível, que permita aos projectistas, construtores e investigadores adquirirem informações em termos energéticos, e ambientais sobre diferentes materiais e produtos, bem como obter comparações. A ferramenta a desenvolver deverá ainda, ser o mais compatível possível com os propósitos do desenvolvimento sustentável no sector da construção.

## **7.1. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Melhorar a sustentabilidade das práticas de construção está directamente relacionada com a questão da eficiência dos recursos. Todos os sectores, incluindo a indústria da construção, devem gerir os seus recursos de forma sustentável de modo a reduzir os impactos ambientais. De modo a estimular e a contribuir para o desenvolvimento sustentável na construção, são descritas algumas ideias:

- Dada a grande variedade e complexidade dos processos e materiais utilizados e os impactes ambientais associados, projectistas, arquitectos e engenheiros devem numa fase inicial do ciclo de vida de um edifício, fase de projecto, coordenar equipas multidisciplinares com vista a minimizar efeitos negativos no ambiente das soluções a adoptar;
- A aplicação generalizada de análises de ciclo de vida na selecção de materiais de construção pressupõe a existência de pesquisas exaustivas sobre os impactos ambientais desses materiais ao longo da sua vida útil, havendo pouca informação dada a dificuldade de extrapolar dados de estudos feitos noutros países, devido às diferenças nos contextos económicos e tecnológicos;
- Apostar num guia com as boas práticas da construção nacional promovendo, para além da qualidade, o ambiente, através da pormenorização e justificação das soluções e técnicas construtivas mais eficientes a aplicar nas diversas fases de projecto;
- Criação de uma plataforma electrónica portuguesa onde os vários fornecedores e empresas de materiais de construção com certificação ambiental ou rótulo ecológico disponibilizassem catálogos com os seus produtos de modo a divulgar e a ajudar os consumidores a escolher produtos mais benéficos para o ambiente e, ao mesmo tempo, de qualidade;

- Incentivar também o uso de materiais de mudança de fase ou termoactivos (PCM), que permitem aumentar a inércia térmica dos edifícios sem haver necessidade de aumentar a espessura dos componentes normalmente utilizados na construção, levando a uma conservação energética idêntica mas usando menos material;
- Implementação por parte do Governo de algumas medidas, de carácter obrigatório, ou até mesmo maiores benefícios fiscais para o uso de energias renováveis e materiais reciclados e ambientalmente certificados de modo a fomentar um desenvolvimento mais sustentável no país.

A utilização de materiais sustentáveis na indústria da construção permite um uso mais eficiente dos recursos e gera mais valor com menos impactos ambientais, para além de que o custo-eficiência não é penalizado à liderança ambiental, podendo mesmo ser mais económico do que os projectos tradicionais quando analisados numa perspectiva equilibrada no seu ciclo de vida.

O estudo desenvolvido pode ser considerado como ponto de partida para futuros trabalhos de investigação ao nível dos materiais naturais como isolamentos térmicos ou outras aplicações na construção, dado ainda não existirem muitos estudos sobre os mesmos.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) - [www.dge.pt](http://www.dge.pt) (1 de Março de 2010).
- [2] World Business Council Sustainable Development – [www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org) (2 de Março de 2010).
- [3] Diário da República, 1ª Série – n.º 159- 20 de Agosto de 2007- Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável ENDS 2015.
- [4] Torgal, F. Pacheco, Jalali, Said. Construção Sustentável. O caso dos materiais de construção. 3º Congresso Construção, 17 a 19 de Dezembro de 2007, Universidade de Coimbra.
- [5] Pinheiro, Manuel Duarte. *Ambiente e construção sustentável*. Instituto do Ambiente, Amadora, 2006.
- [6] Bragança, L., Pinheiro, M.D., Jalali, S., Mateus, R., Amoêda, R., Guedes, M.C., *Portugal SB07 Sustainable Construction, materials and practices, Challenge of the industry for the New Millenium*, IOS Press, Amesterdão, 2007.
- [7] Vieira, Jeann, Sustentabilidade - [http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/mce04007\\_Sustentabilidade.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/mce04007_Sustentabilidade.pdf) (19 de Março de 2010).
- [8] A construção do Futuro: desafios e oportunidades - <http://www.aveirodomus.pt/resources/xFiles/scContentDeployer/docs/Doc1009.pdf> (25 de Março de 2010).
- [9] Lucas, Sandra. *Critérios ambientais na utilização de materiais de construção*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2008.
- [10] Gervásio, Helena, Silva, Luís Simões. *A Sustentabilidade do aço*. V Congresso de construção metálica e mista, 2005, Lisboa.
- [11] Reciclagem do plástico - <http://www.intraplas.pt/aprender/reciclagem.asp#> (2 de Abril 2010).
- [12] Sustentabilidade dos materiais - <http://www.greenspec.co.uk/> (visitado a 4 de Abril de 2010).
- [13] Catarino, R. *A energia incorporada nos materiais e a construção sustentável*. Trabalho de Projecto. Universidade do Algarve, 2008.
- [14] Gomes, J.C., Ferreira, R.M. *Durabilidade dos materiais: desempenho e projecto prescritivo*. Materiais de construção, 04/11/2009, edição n.º145, págs. 42-48, APCMC, Porto.
- [15] Berge, Bjorn. *The ecology of building materials*. Architectural Press (Elsevier), Great Britain, 2000.
- [16] Redução, reutilização e reciclagem - <http://www.incineracao.online.pt/reducao-reutilizacao-e-reciclagem> (6 de Abril de 2010).
- [17] Vieira, Geilma L., Molin, Denise., Lima, Flávio. *Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição*. Trabalho de projecto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- [18] Agência Portuguesa do Ambiente - <http://www.apambiente.pt/> (7 de Abril de 2010).
- [19] Mateus, Ricardo., Bragança, Luís. *Tecnologias Construtivas para Sustentabilidade da Construção*. Edições ECOPY, Porto, 2006.
- [20] Análise do ciclo de vida - <http://acv.ibict.br/normas> (23 de Março de 2010).

- [21] The Environmental Assessment Method for Buildings Around the World - <http://www.breeam.org/> (13 de Abril de 2010).
- [22] International Initiative for a Sustainable Built Environment - <http://www.iisbe.org/> e <http://www.sbtool-pt.com/> (13 de Abril de 2010).
- [23] Mateus, Ricardo. *Apresentação da ferramenta SBTool – Estrutura, Indicadores e Parâmetros*. 25/06/2009. [http://www.sbtool-pt.com/pdf/Ferramenta\\_SBTOOL.pdf](http://www.sbtool-pt.com/pdf/Ferramenta_SBTOOL.pdf) (13 de Abril de 2010).
- [24] U.S. Green Building Council - <http://www.usgbc.org/> (13 de Abril de 2010).
- [25] Cepinha, Eloísa., Santos, Sofia., *Implementação de um sistema de avaliação de desempenho ambiental da construção- LEED*. Research, Janeiro de 2009, edição n.º2, págs. 2-18, Sustentare, Lisboa.
- [26] Sistema de avaliação da sustentabilidade LiderA - <http://www.lidera.info/> (15 de Abril de 2010).
- [27] Building and Fire Research Laboratory: Office of Applied Economics - <http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees/products.html> (16 de Abril de 2010).
- [28] Lippiatt, Barbara. *BEES 4.0 Building for Environmental and Economic Sustainability*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2007.
- [29] Product ecology consultants - <http://www.pre.nl/simapro/> (16 de Abril de 2010).
- [30] Forsberg, Anna., Malmborg, Fredrik von. *Tools for environmental assessment of the built environment*. Elsevier, Suíça, 2003.
- [31] Athena Institute - <http://www.athenasmi.org/> (19 de Abril de 2010).
- [32] XCO<sub>2</sub> conisbee Ltd., *Insulation for Sustainability – A Guide*. Bing, Londres, 2002.
- [33] Associação Industrial do Poliestireno Expandido - [http://www.acepe.pt/eps/eps\\_prop\\_tabEN.asp](http://www.acepe.pt/eps/eps_prop_tabEN.asp) (29 de Abril de 2010).
- [34] Building solutions: DOW - <http://building.dow.com/europe/pt/proddata/xps/index.htm> (29 de Abril de 2010).
- [35] Gil, Luís., *A cortiça como material de construção - Manual Técnico*. APCOR, Portugal, 2007.
- [36] Hammond, Geoff., Jones, Craig. *Inventory of Carbon and Energy (ICE) version 1.6*. University of Bath, UK, 2008.
- [37] Associação dos fabricantes de isolamento em celulose - <http://www.cellulose.org/CIMA/GreenestOfTheGreen.php> (28 de Maio de 2010).
- [38] Catálogo ISOFLOC - [http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht\\_isofloc.pdf](http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht_isofloc.pdf) (28 de Maio de 2010).
- [39] Isolamento em lã de ovelha - <http://www.sheepwoolinsulation.ie/> (28 de Maio de 2010).
- [40] Flax Council of Canada - <http://www.flaxcouncil.ca/english/index.jsp?p=growing12&mp=growing> (31 de Maio de 2010).
- [41] Papadopoulos, A.M., Karamanos, A., Avgelis, A. *Environmental impact of insulating materials at the end of their useful lifetime*. Elsevier, 2006.
- Belgas, Lurdes. *Isolamento térmico*. Curso de especialização tecnológica, Instituto Politécnico de Tomar, 2006.

Casagrande, Eloy. *Princípios e parâmetros para a construção sustentável*. Pós-graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2005.

Eires, Rute. *Materiais não convencionais para uma construção sustentável*.

Ferreira, José. *Análise de ciclo de vida dos produtos*. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

Kibert, Charles J. *Sustainable Construction Green Building Design and Delivery - 2<sup>nd</sup> ed.* John Wiley and Sons, INC., Florida, 2008.

Al-Homoud, Mohammad S. *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials*. Building and Environment n° 40, Elsevier, 2004.

Papadopoulos, A.M., Giama, E. *Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building*. Building and Environment n° 42, Elsevier, 2007.

Papadopoulos, Karamanos, A., Avgelis, A. *Environmental impact of insulating materials at the end of their useful lifetime*. Elsevier, 2006.

PRé Consultants. *Introduction to LCA with SimaPro7*. PRé Consultants, 2007.

LargeMind. *Materiais reciclados e soluções para uma construção sustentável*. Grupo Mitera, 2009.

Tirone, Lívia., Nunes, Ken. *Construção sustentável – soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*. Tirone Nunes S.A., Sintra, 2007

Wilson, A.; Piepkorn, M. *Green Building Products, the Green Spec Guide to Residential Building Materials*. BuildingGreen, New Society Publishers, 2005.