U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO. PROPOSTA DE INDICADORES AMBIENTAIS, FUNCIONAIS E ECONÓMICOS.

CRISTIANA PATRÍCIA TEIXEIRA ALVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professor Doutor Maria Helena Póvoas Corvacho

Julho 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ 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

🌍 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 - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha mãe e ao meu irmão

It always seems impossible until is done

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

Não só por me terem acompanhado nesta fase, mas de alguma forma me ajudaram a superar dificuldades, vencer batalhas e conquistar objetivos ao longo do meu percurso académico. Só tenho a agradecer.

Em primeiro lugar, a minha mãe, porque se não me tivesse permitido voar, mudar de cidade, e abraçar uma das maiores aventuras da minha vida, este projeto nunca teria sequer acontecido.

Ao meu irmão, que me faz todos os dias procurar ser melhor que ontem.

Ao André Monteiro, por ter aparecido no momento certo na minha vida, por termos concretizado tantos sonhos juntos, por ainda hoje lutar ao meu lado. Essencialmente, por ser luz na minha caminhada.

Um agradecimento especialmente à Doutora Maria Helena Corvacho, por estar sempre disponível para orientar e ajudar nesta dissertação, e em especial por ter sido sempre compreensível e me ter ajudado em tudo o que precisei.

Ao Hélder por ter sido, e continuar a sê-lo, como um irmão. À Cátia por me ter mostrado que posso confiar nas pessoas. Ao Ricardo por tentar sempre mostrar-me o meu valor.

A D. Helena por tudo! A madrinha que a vida me deu.

A residência Jayme Rios de Sousa, por ter sido o meu lar e o meu refúgio, durante estes longos anos.

Ao Engenheiro Domingos, que me cativou para a área e me ensinou tanto.

A FEUP e a todos os professores com quem tive o gosto de privar, por potencializarem o meu crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos meus colegas de curso, colegas e amigos de casa que se cruzaram comigo, por me ter proporcionado os melhores momentos como estudante universitária.

A todos, um obrigado não chega!

RESUMO

Com o passar dos tempos as exigências ambientais tendem a aumentar, e a construção encontra inúmeros desafios para tentar melhorar a sua prestação ambiental. A diferença está, que presentemente, existe uma preocupação para tentar combater a falta de sustentabilidade deste setor.

Que metodologias sustentáveis podem ser utilizadas no setor da construção? Como atuar? O que melhorar ou mudar? Que processos adotar? Estas e outras questões surgem enquanto o setor se tenta reinventar um pouco todos os dias para sair da lista negra dos vilões que prejudicam o meio ambiente. O investimento no sentimento de impulsionar a sustentabilidade é cada vez maior, e atualmente já existem métodos capazes de ajudar neste aspeto.

Contudo não só do fator ambiental depende um setor mais ou menos sustentável. Os quesitos sociais e económicos também têm a sua pertinência. Com base no método de MARS-SC (Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas) procurou-se perceber de que forma influenciam, os materiais de isolamento térmico, a sustentabilidade quando aplicados em fachadas e coberturas.

Após uma procura exaustiva de informação sobre o desempenho ambiental e funcional dos isolantes térmicos, recorrendo à declarações ambientais de produtos e à classificação ISOLE, respetivamente, escolheram-se os materiais. Juntamente com o fator económico, correspondente, desenvolveu-se um estudo comparativo entre soluções construtivas para cada tipo de uso, identificando, assim, que tipo de isolamento térmico seria mais sustentável.

No presente estudo, ficou claro como as questões ambientais e económicas variam consoante o tipo de material e o tipo de uso. E a forma como o mesmo material afeta o nível de sustentabilidade de forma diferente.

PALAVRAS-CHAVE: sustentabilidade, isolamento térmico, ciclo de vida, ambiental, desempenho.

ABSTRACT

Nowadays, there is a growing focus on environmental demands, and therefore, the construction sector faces several challenges in order to improve environmental performance. As such, it is possible to notice crescent concerns to fight the lack of sustainability in this sector.

Which sustainable methodologies can be employed in construction? How to implement them? What can be improved or changed? Which processes should be adopted? These topics emerge whenever the sector slowly tries to reinvent itself to exit the blacklist of environmental villains. The investment in boosting sustainability has been increased, and currently there are approaches capable of assisting these issues.

Nonetheless, a sustainable sector does not depend only on the environment element since there are other social and economic requirements that also should be take into consideration.

Based on the MARS-SC method, thermal insulation materials were studied to assess their sustainability, when these materials are applied in facades and roofs.

Following an extensive search for information regarding the environmental and functional performances of thermal insulation materials, using Environmental Product Declarations and ISOLE classification, respectively, the materials were chosen. Along with the economic factor, a comparative study was developed between constructive solutions for each kind of use, identifying this way the most sustainable thermal insulation solutions.

In this study, it was clear how environmental and economic constraints can vary depending on the type of material and its use. It was also found that the same type of material can affect the level of sustainability in different ways, depending on its specific characteristics.

KEY-WORDS: sustainability, thermal insulation, life cycle, environment, performance.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS I

RESUMO III

ABSTRACT V

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 ENQUADRAMENTO 1

1.2 OBJETIVOS 1

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 2

2 ESTADO DA ARTE 5

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO 5

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA 6

2.3 DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTO (DAP'S) 8

2.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE 9

2.5 O MÉTODO MARS-SC 13

3 MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO 17

3.1 MATERIAIS CORRENTEMENTE UTILIZADOS NOS EDIFÍCIOS 17

3.1.1 AGLOMERADO DE CORTIÇA 17

3.1.2 LÃ DE ROCHA 17

3.1.3 LÃ DE VIDRO 18

3.1.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) 18

3.1.5 POLIESTIRENO EXTRUDIDO (XPS) 18

3.1.6 POLIURETANO (PUR) 19

3.2 DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTO (DAP) 19

3.3 CLASSIFICAÇÃO ISOLE 20

3.4 EXIGÊNCIAS POR TIPO DE USO 23

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO MARS-SC À SELEÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO 25

4.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS A ESTUDAR E DIMENSÃO FUNCIONAL 25

4.2 INDICADORES AMBIENTAIS 28

4.3 INDICADORES ECONÓMICOS 28

4.4 ANÁLISE GLOBAL 29

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS 31

5.1 AVALIAÇÃO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PARA PAREDES EXTERIORES 31

5.1.1 ISOLAMENTO PELO EXTERIOR 31

5.1.1.1 Isolamento ETICS 31

5.1.1.2 Isolamento pelo exterior em fachada ventilada 33

5.1.2 ISOLAMENTO NA CAIXA DE AR DE PAREDE DUPLA 36

5.1.2.1 caixa de ar parcialmente preenchida 36

5.1.2.2 caixa de ar totalmente preenchida 38

5.1.3 ISOLAMENTO PELO INTERIOR 40

5.2 AVALIAÇÃO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PARA COBERTURAS 42

5.2.1 COBERTURAS INCLINADAS 42

5.2.1.1 Isolamento sobre a laje de esteira 42

5.2.1.2 Isolamento nas vertentes 44

5.2.2 COBERTURAS PLANAS 46

5.2.2.1 Cobertura tradicional 46

5.2.2.2 Cobertura invertida 48

6 CONCLUSÃO 50

6.1 CONCLUSÕES GERAIS 50

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 51

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 2.1 Conceito de construção sustentável [2] ..... **Erro! Marcador não definido.**

Figura 2.2 - Fases de implementação do LCA [3]..... 7

Figura 2.3 – Certificação e associados OneCLick LCA 8

Figura 2.4 – Logótipo International EPD System. 9

Figura 2.5 - Locais onde a International EPD System atua. 9

Figura 2.6 - Gráfico de desempenho global (a esquerda) e de cada categoria especificamente. 12

Figura 2.7 – Vertentes e áreas LiderA 13

Figura 2.8 - Possível representação de um perfil sustentável resultado da aplicação de MARS-SC. 16

Figura 3.1 – Logótipo ACERMI [16] 20

Figura 4.1 - Exemplo de ISOLE para aplicação do método. 25

Figura 5.1 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada ETICS. A solução de referencia (**EPS F**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 33

Figura 5.2 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada ventilada. A solução de referencia (**Vidro celular B**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 35

Figura 5.3 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada com isolamento pela caixa de ar parcialmente preenchida. A solução de referência (**XPS K**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 37

Figura 5.4 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada com isolamento pela caixa de ar totalmente preenchida. A solução de referência (**XPS M**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 39

Figura 5.5 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada com isolamento pelo interior. A solução de referência (**XPS M**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 41

Figura 5.6 - Gráficos radar de todas as soluções para coberturas com isolamento sobre a laje de esteira. A solução de referência (**XPS M**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 43

Figura 5.7 - Gráficos radar de todas as soluções para coberturas com isolamento sobre a laje de esteira. A solução de referência (**XPS M**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 45

Figura 5.8 - Gráficos radar de todas as soluções para coberturas tradicionais. A solução de referência (**EPS F**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 47

Figura 5.9 - Gráficos radar de todas as soluções para coberturas invertidas. A solução de referência (**EPS F**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido. 49

ÍNDICE DOS QUADROS

Quadro 2.1 -Níveis de pontuação LEED [9] 11

Quadro 2.2 - Categorias avaliadas no GBTool (adaptado [11]) 11

Quadro 2.3 – Exemplos de indicadores ambientais, funcionais e económicos (adaptado [4]) .. 14

Quadro 2.4 – Possível avaliação do desempenho relativo da solução em estudo a partir da NS 15

Quadro 3.1 - Indicador I - Níveis de Compressibilidade 20

Quadro 3.2 – Indicador S - Níveis de Estabilidade Dimensional 21

Quadro 3.3 – Indicador O - Níveis de Comportamento de Água 21

Quadro 3.4 – Indicador L - Níveis de comportamento mecânico em coesão e flexão 22

Quadro 3.5 – Indicador E - Níveis de permeância ao vapor de água 22

Quadro 3.6 - Níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes térmicos em paredes (adaptado) 23

Quadro 3.7 - Níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes térmicos em coberturas. (adaptado) 23

Quadro 3.8- Exigência de permeância "E" dos isolantes térmicos em função da higrotmetria dos locais interiores (adaptado) 24

Quadro 3.9 - Exigências de compressibilidade "I" dos isolamentos térmicos em função da carga a que estão sujeitos (adaptado) 24

Quadro 4.1 - Classificação ISOLE e possíveis utilizações dos isolamentos térmicos. 26

Quadro 4.2 - Informações relativas aos isolamentos térmicos em estudo 27

Quadro 4.3 - Pesos relativos ao indicador económico. 28

Quadro 4.4 -Ponderação global na aplicação do método MARS-SC 29

Quadro 5.1 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachada ETICS. ... 31

Quadro 5.2 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachada ETICS. 31

Quadro 5.3 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 32

Quadro 5.4 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachada ventilada. 33

Quadro 5.5 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachada ventilada. 34

Quadro 5.6 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 34

Quadro 5.7 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachadas com isolamento pela caixa de ar parcialmente preenchida. 36

Quadro 5.8 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachadas com isolamento pela caixa de ar parcialmente preenchida. 36

Quadro 5.9 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 36

Quadro 5.10 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachadas com isolamento pela caixa de ar totalmente preenchida. 38

Quadro 5.11 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachadas com isolamento pela caixa de ar totalmente preenchida. 38

Quadro 5.12 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 38

Quadro 5.13 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachadas com isolamento pelo interior. 40

Quadro 5.14 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachadas com isolamento pelo interior. 40

Quadro 5.15 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 40

Quadro 5.16 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para coberturas com isolamento sobre a laje de esteira. 42

Quadro 5.17 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para coberturas com isolamento sobre a laje de esteira. 42

Quadro 5.18 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 42

Quadro 5.19 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para coberturas com isolamento nas vertentes. 44

Quadro 5.20 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para coberturas com isolamento nas vertentes. 44

Quadro 5.21 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 44

Quadro 5.22 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para coberturas planas tradicionais. 46

Quadro 5.23 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para coberturas planas tradicionais. 46

Quadro 5.24 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 46

Quadro 5.25 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para coberturas planas invertidas. 48

Quadro 5.26 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para coberturas planas invertidas. 48

Quadro 5.27 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade. 48

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

EPS – Poliestireno expandido moldado

PIR – Espuma rígida de poli-isocianurato

PUR - Espuma rígida de poliuretano

ICB – Aglomerado de cortiça expandida

MW – Lã mineral

XPS - Poliestireno expandido extrudido

ACERMI – L'Association pour la Certification des Matériaux Isolants

U – Coeficiente de transmissão térmica

R – Resistência térmica

DAP – Declaração Ambiental do Produto

EPD – Environmental product declaration

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

SBTOOL – Sustainable Building Tool

LCI - Inventário de ciclo de vida

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Atualmente, a área da construção é um setor caracterizado pelo consumo excessivo de matérias-primas, recursos energéticos não renováveis e pela excessiva mão-de-obra. Sendo responsável pela emissão de 30% das emissões de carbono, consumir 42% da energia produzida e aproximadamente 50% em massa de matérias-primas na Europa. [1] O que evidencia um setor insustentável. Logo, é fundamental adotar medidas ou estratégias que promovam uma melhoria na preservação e conservação do meio ambiente.

De um ponto de vista da construção de edifícios, para falarmos de sustentabilidade, temos que ter presente todas as suas fases começando pela fase de projeto, passando pela fase de construção, utilização, manutenção e possível demolição. Porém, a tentativa de melhorar este processo parte inicialmente da escolha de materiais, o que requer especial atenção desde a sua extração até a sua degradação, equipamentos necessários, locais de extração e transporte, entre outros.

Embora o aspeto ambiental seja o mais lesado com esta indústria, é importante considerar o aspeto funcional e económico. Só assim se poderá falar efetivamente em sustentabilidade na construção.

Assim, através dos materiais de isolamento térmico procuraremos perceber o significado destes nesta temática, utilizando uma metodologia de avaliação de sustentabilidade de soluções construtivas para fachadas e coberturas.

1.2 OBJETIVOS

A presente dissertação, inserida no Mestrado Integrado em Engenharia Civil tem como principal objetivo o estudo sobre a sustentabilidade dos materiais de isolamento térmico para fachadas e coberturas dos edifícios em Portugal.

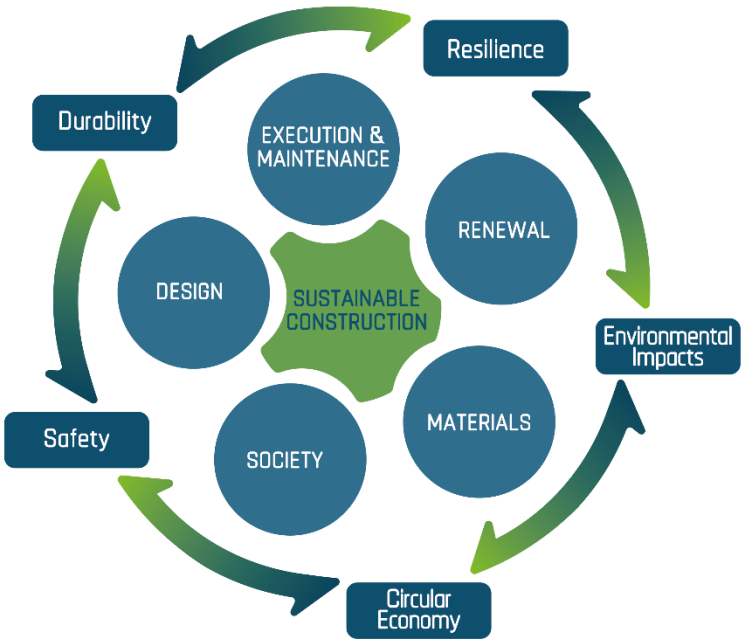


Figura 1.1 - Conceito de construção sustentável [2]

Primeiramente, tenciona-se perceber a escala e grandezas, bem como os intervenientes que propiciem a sustentabilidade na área de construção civil. Desde logo, como a Figura 1.1 demonstra, as ligações importantes a ter em conta dessas mesmas grandezas e quais os intervenientes a considerar para se falar de construção sustentável, como por exemplo, os materiais utilizados, a reutilização de materiais e processos de construção, considerando todas as fases do projeto e a funcionalidade para que se destina a obra.

Procura-se perceber, concretamente, como funcionam e qual o impacto que têm os isolantes térmicos a nível ambiental, funcional e económico nas possíveis soluções construtivas. E assim, procurar promover escolhas mais sustentáveis e que possibilitem melhorar a qualidade habitacional, não degradando ou prejudicando o ambiente, ou se o fizerem, que seja o mínimo possível, tornando o nosso setor mais amigo do ambiente, consciente e preocupado com as questões ambientais e de habitabilidade não só hoje, mas também para as gerações futuras.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está divida em seis capítulos para permitir uma contextualização mais clara dos conteúdos e facilitar a leitura e compreensão do tema. Posto isto, apresentam-se por capítulos, os assuntos que foram abordados.

No capítulo 1 é feita uma breve reflexão do tema da sustentabilidade na construção, são explicitados os objetivos a atingir nesta dissertação e é apresentada a sua estrutura.

No capítulo 2, abordam-se as questões da sustentabilidade em relação à avaliação do ciclo de vida dos materiais e enunciam-se os métodos atualmente utilizados na construção, referindo a metodologia adotada para desenvolver o tema central.

No capítulo 3, primeiramente, expõem-se os materiais de isolamento térmico e, posteriormente, os parâmetros selecionados, tanto a nível ambiental como funcional, que sustentarão a metodologia adotada.

Pormenorizadamente, no capítulo 4, é feita uma descrição de toda a envolvente do método, desde os materiais selecionados até, explicitamente, os indicadores ambientais, funcionais e económicos que se utilizaram.

No capítulo 5 são apresentados e analisados os resultados, da aplicação do método, consoante os materiais e os tipos de uso selecionado.

Por fim, o capítulo 6 serviu para apresentar as conclusões do trabalho desenvolvido e refletir sobre possíveis abordagens e desenvolvimentos futuros.

2
ESTADO DA ARTE

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

Falar de sustentabilidade na construção e definir o que é uma construção sustentável é bastante complexo. As primeiras metodologias preocupavam-se sobretudo com a dimensão ambiental. Esta, como a priori se assumia, era a mais relevante. No entanto, para se obter uma construção sustentável tem que se assegurar, além das questões ambientais, que a os aspetos sociais como a satisfação dos utentes estão salvaguardados, tanto no presente como no futuro. Os aspetos económicos têm obviamente, também, uma relevância significativa.

O problema que se coloca, daí a dificuldade de aferir e avaliar a sustentabilidade na construção nomeadamente dos edifícios, é o facto de estes serem resultado de um interminável conjunto de materiais, tecnologias e processos. "O desempenho global do edifício não resulta do simples somatório de cada desempenho individual de cada unidade do edifício, mas sim o modo como cada uma delas se relacionam entre si, com os utilizadores e com os ambientes interno e externo." [3]

Por norma, estabelecem-se os objetivos abaixo citados para se atingir uma construção sustentável[4]:

- Otimização potencial do local;
- Preservação da identidade regional e cultural;
- Minimização do consumo de energia;
- Proteção e conservação dos recursos de água;
- Utilização de materiais e produtos de baixo impacte ambiental;

Debruçando as atenções neste último ponto, uma vez que os materiais de isolamento térmico são o nosso alvo de estudo, é necessário compreender as características que fazem com que sejam considerados materiais sustentáveis. De seguida, encontram-se descritas essas características:

- Locais;

- Matérias-primas renováveis;
- Recicláveis ou reutilizáveis;
- Baixo valor de energia incorporada;
- Inexistência de substâncias tóxicas;
- Reduzida necessidade de acondicionamento;
- Eficiente uso de água;
- Certificados.

A nível funcional, na fase de projeto concretamente na seleção de materiais é necessário falar-se de durabilidade. Este critério é a capacidade de o edifício desempenhar a sua função durante um determinado período de tempo, não é por isso uma propriedade intrínseca do material, mas sim uma característica afetada pelas condições a que ele esta sujeito em serviço.

Posto isto, a utilização adequada de materiais contribui, significativamente, para um melhor desempenho ambiental de ciclo de vida de um edifício e, por conseguinte, para a sua sustentabilidade. Aqui introduz-se um conceito bastante importante e fundamental no desenvolvimento desta dissertação: a avaliação do ciclo de vida (ACV).

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A partir dos anos 90 é estabelecida pela Organização Internacional de Normalização (ISO 14040) a definição de ACV, ou como é internacionalmente conhecida Life Cycle Assessment (LCA), devido à necessidade de avaliar os impactes ambientais e promover uma seleção criteriosa que permitisse melhorar o desempenho ambiental de um edifício.

O método LCA é uma análise quantitativa que identifica a energia e os materiais consumidos, e os resíduos libertados para o ambiente. Esta avaliação é realizada em quatro fases distintas:

1. Definição de objetivos e do âmbito;
2. Inventário de ciclo de vida;
3. Avaliação dos impactes de ciclo de vida;
4. Interpretação.

A figura 2.2 demonstra a estrutura da LCA.

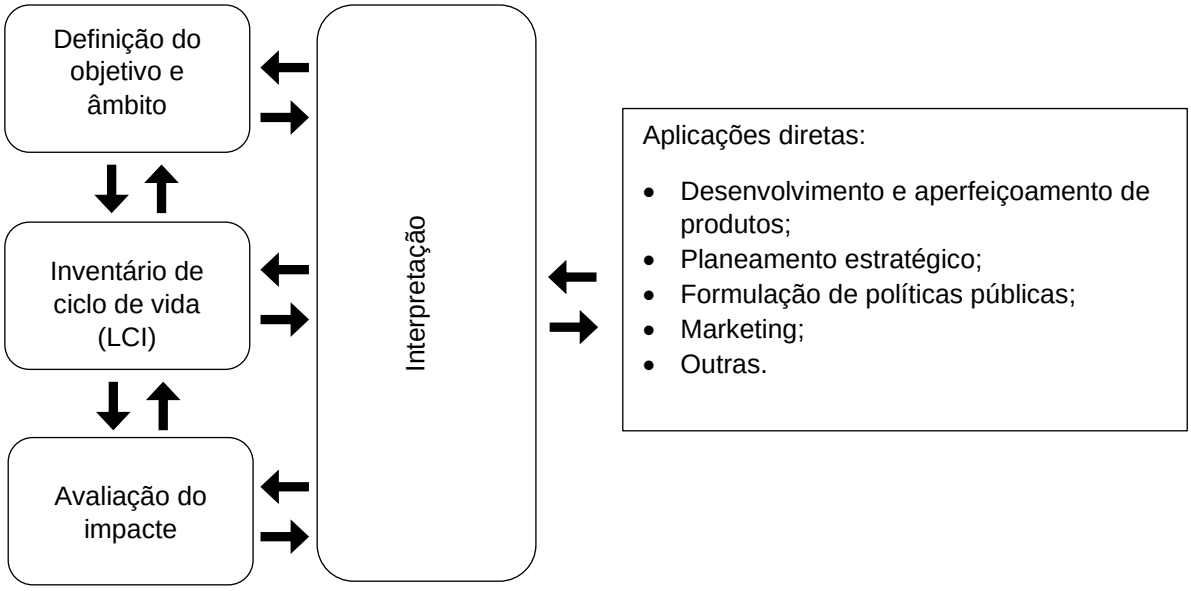


Figura 2.1 - Fases de implementação do LCA [3]

Numa primeira fase são formulados e definidos os objetivos de acordo com a aplicação pretendida. Identifica-se:

a) O público-alvo da avaliação;

b) As etapas que compõem o ciclo de vida do edifício e a sua relevância para o objetivo de estudo;

c) A unidade funcional que será avaliada;

d) As condições-fronteira;

e) A metodologia para a alocação dos impactes e consumo de matérias-primas nos diversos processos.

A fase seguinte implica a recolha, descrição e verificação de dados. Definindo todos os inputs e outputs. "Ao nível dos inputs são quantificados, por exemplo, os materiais e a energia utilizados e ao nível dos outputs, as emissões atmosféricas, emissões para água e resíduos sólidos" [3]

A avaliação das categorias do impacte ambiental esta subdividida em 4 etapas:

- Duas obrigatórias: classificação e caracterização;
- Duas opcionais: normalização e agregação;

Na fase de classificação é efetuada a distribuição de resultados da fase LCI pelas diversas categorias de impacte ambiental. Enquanto na fase de caracterização é elaborado o estudo relativo de cada um dos resultados LCI no valor do indicador cada categoria de impacte ambiental.
Sem a apresentação destas duas fases não poderemos considerar que se trate de uma análise LCA. Por fim, a interpretação é a etapa onde são analisados os processos e materiais que mais influenciam os impactes de um produto e são realizadas as análises de sensibilidade e incerteza.

Contudo, convém reter, que este método implica escolhas mais ou menos subjetivas, pois as suas incertezas são causadas pela representatividade, os processos de alocação, a vida útil, o cenário de fim de vida adotado e a unidade funcional considerada.

2.3 DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTO (DAP'S)

As declarações ambientais de produto, ou como são mundialmente conhecidas, Environmental product declaration, EPD, são um documento que indica o desempenho ambiental de um material ou produto durante o seu ciclo de vida.

Com o objetivo de melhorar a informação ambiental sobre os produtos, estas vêm ajudar os projetistas a conseguir soluções construtivas que promovam uma construção cada vez mais sustentável.

Trata-se de uma ferramenta em crescendo, uma vez que as entidades procuram ter este tipo de informação quantitativa associado aos seus materiais, incluindo naturalmente os materiais de isolamento. Ainda são muito poucos, os isolantes com EPD, comparados com a diversidade de materiais existentes, mas a dificuldade de se realizar este estudo ou a falta de meios e vontade por parte das empresas e fornecedores conduzem a uma lista ainda reduzida de materiais.

A OneCLick LCA [5] possui uma plataforma que promove a utilização e criação de EPD e fornece formações certificadas associadas a métodos de avaliação de sustentabilidade apresentados no subcapítulo 2.4.



Figura 2.2 – Certificação e associados OneCLick LCA

Na Figura 2.2 encontram-se exemplos de entidades que trabalham em cooperação com a OneClick LCA, no sentido de produzir e divulgar as EPD's

A International EPD System (logótipo na Figura 2.3), fornece uma plataforma onde as entidades podem introduzir, relativamente aos seus materiais e produtos, as suas DAP's, perfazendo assim uma biblioteca de materiais que possuem uma avaliação do seu desempenho ambiental [6]. Disponível para organizações, pública e privadas, é utilizada globalmente, como demonstra a Figura 2.4.

EPD®

THE INTERNATIONAL EPD® SYSTEM

Figura 2.3 – Logótipo International EPD System.

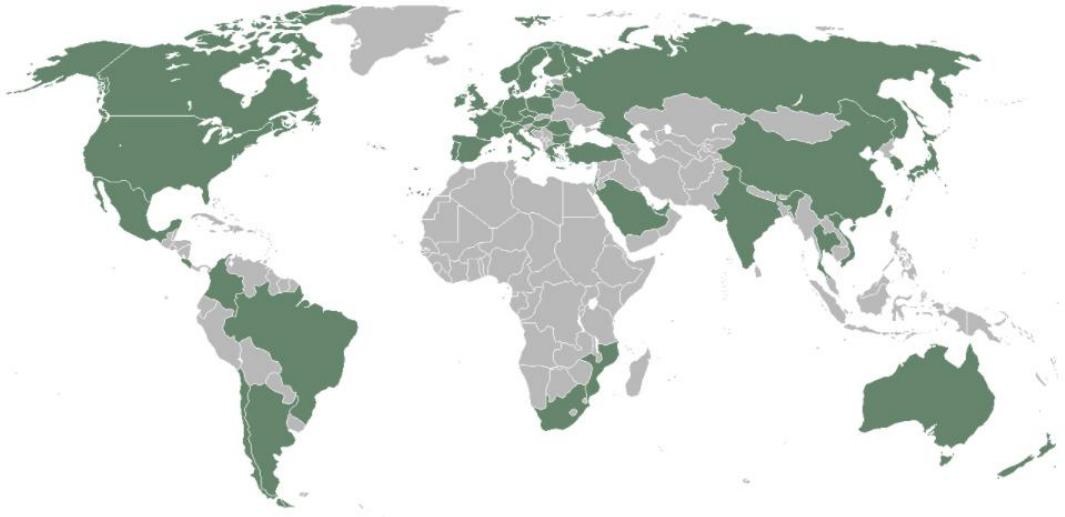


Figura 2.4 - Locais onde a International EPD System atua.

2.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

Atualmente, os métodos mais utilizados são o Building in Energy & Environmental Design (BREEAM), o Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) e o Green Building Tool (Gbtool). Em Portugal o LiderA e o SBTOOL^{PT} são as ferramentas mais conhecidas.

O **BREEAM** fornece um certificado sobre a avaliação de desempenho da sustentabilidade de edifícios podendo operar na fase de projeto, construção e reabilitação. Essa avaliação é levada a cabo por especialistas qualificados para certificar produtos, sistemas e serviços. É através das suas possíveis classificações, que variam desde Aceitável, Aprovado, Bom, Muito Bom, Excelente e Extraordinário, que se conhece o desempenho alcançado de uma dada construção. O resultado desta certificação é dado pela quantidade de estrelas que refletem a classificação acima discriminada.

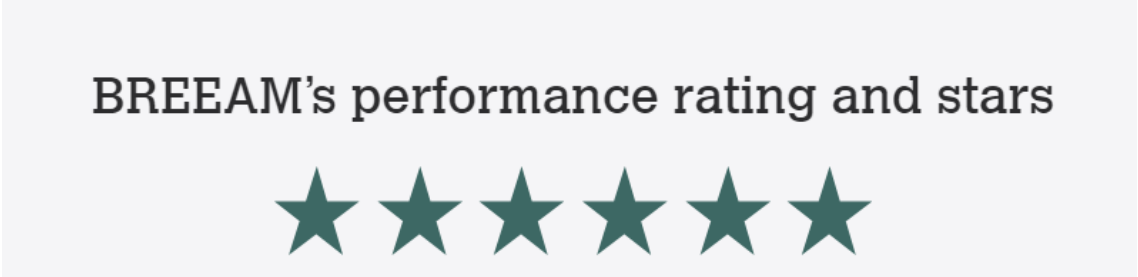


Figura 1 - Classificação de desempenho BREEAM [7]

Este método avalia uma série de categorias segundo um determinado propósito, que resumidamente é apresentado de seguida [7] :

- Energia – Avaliação de medidas que visam uma gestão eficiente ao longo de toda a vida do edifício, incentivando desde logo a utilização de soluções, sistemas e equipamentos com eficiência energética e potencializando a redução de emissões de carbono.
- Saúde e bem-estar – Procura garantir qualidade, conforto e segurança tanto interna como exteriormente aos seus habitantes melhorando assim a qualidade de vida em edifícios.
- Inovação – Reconhecimento pela adoção de medidas produtos e processos inovadores;
- Poluição – Visam reduzir o impacte dos edifícios no meio ambiente.
- Desperdício – Incentivar a uma gestão sustentável de resíduos gerados na fase de construção e posteriormente na fase de manutenção bem como uma possível reutilização de materiais, procurando reduzir o desperdício.
- Água – Diminuir o uso de água potável em todas as fases do edifício.
- Materiais – Reduzir o impacto dos materiais desde a sua extração até a sua possível reciclagem, incluindo também a fase de processamento e construção.
- Gestão – Adoção de práticas sustentáveis nas fases de design, construção, entrega e manutenção do edifício.
- Uso da Terra – Proteger e proporcionar uma melhoria no da biodiversidade bem como um uso consciente de terras, a longo prazo.
- Transporte – Oferecer soluções mais ecológicas, como transportes públicos, ou outras alternativas nas proximidades da construção, diminuindo as emissões de CO_2.

A classificação **LEED** pretende estabelecer estratégias e padrões para estimular práticas de *green building* e assim conseguir a construção de edifícios mais sustentáveis, agora numa vertente mais ampla e analisando todas as fases da construção. [8]

Esta ferramenta avalia as soluções construtivas atribuindo uma pontuação segundo determinadas subcategorias e pré-requisitos inseridos em categorias estabelecidas previamente pela metodologia. As subcategorias dependem das opções do utilizador, este será um determinante fator diferenciador de solução para solução. Os pontos serão atribuídos segundo as categorias, mencionados de seguida, e inseridas nos pré-requisitos escolhidos.

As categorias e correspondentes pontuações mínimas são as seguintes [9]:

a) Implantação sustentável - 26 pontos;

b) Utilização racional da água – 10 pontos;

c) Energia e atmosfera – 35 pontos;

d) Materiais e recursos – 14 pontos;

e) Qualidade do ambiente interior – 15 pontos;

Podendo ainda obter uma pontuação bónus de 6 pontos na categoria conceção e inovação e 4 pontos na componente regional. O edificado obtém assim uma pontuação que lhe garantirá um determinado nível LEED, como demonstra o quadro seguinte.

Quadro 2.1 -Níveis de pontuação LEED [9]

Pontuação mínima (pontos)	Nível
40	Certificado
50	Prata
60	Ouro
80 ou mais	Platina

A **GBtool** fornece uma panóplia de ferramentas e certificações de classificações de edifícios verdes. Estas, podem ser aplicadas na fase de projeto, construção, operação e manutenção, reabilitação e demolição de um edifício verde. [10] Avalia seis categorias diferentes, explícitas no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Categorias avaliadas no GBTool (adaptado [11])

Categorias	Peso (%)
Usos de recursos Energia, água, solo e materiais	20
Cargas ambientais Emissões, efluentes e resíduos sólidos	25
Qualidade do ambiente interno Qualidade do ar, ventilação, conforto e poluição	20
Qualidade dos serviços Flexibidade, adaptabilidade, controlabilidade pelo usuário, espaços externos e impactos nas propriedas adjacentes	15
Aspetos económicos	10
Gestão pré-ocupação Planejamento do processo de contrução, verificação pré-entrega e planejamento da operação	10
Transporte Ainda não operacional	0
Total:	100 %

O método utiliza uma escala de graduação de desempenho que vai de -2 a +5. Sendo que o valor zero desta escala corresponde ao desempenho de referência *bencharmark* e é considerado o nível de desempenho aceitável. No entanto, a pontuação final é obtida através de sucessivas pontuações retiradas de quatro níveis: subcritérios, criterios categorias e áreas de desempenho, e temas principais. Por defeito, os fatores de ponderação dos indicadores dentro das categorias (criterios e subcriterios) são divididos igualmente, e apenas os pesos das categorias são personalizados. [11]

A Figura 2.5 demonstra um possivel resultado desta avaliação.

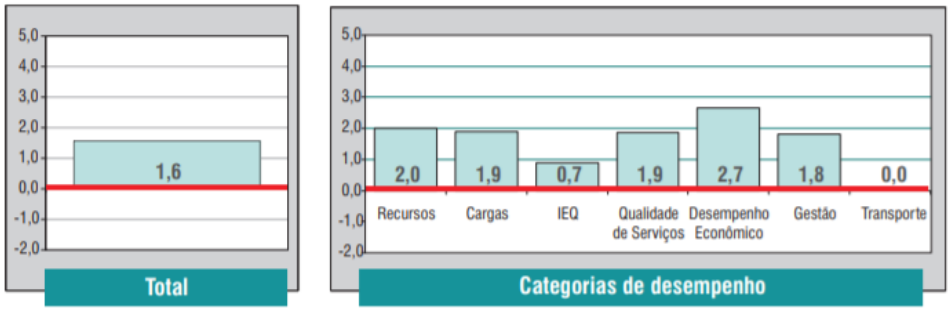


Figura 2.5 - Gráfico de desempenho global (a esquerda) e de cada categoria especificamente.

Em Portugal, atualmente, existe um método, **LiderA**, que se apresenta com o objetivo de liderar pelo ambiente. Surgindo em 2000, por iniciativa de Manuel Duarte Pinheiro, docente do Instituto Superior Técnico (IST) e fundador da IPA – Inovação e Projetos em Ambiente, numa perspetiva de sustentabilidade dispõe de três níveis: estratégico, projeto e gestão do ciclo de vida. Com uma visão alargada de aplicação, destina-se a edifícios, espaços exteriores, quarteirões, bairros e empreendimentos de várias escalas.

A procura da sustentabilidade é efetuada segundo seis princípios: [12]

- Princípio 1 – Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Princípio 2 - Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
- Princípio 3 - Reduzir o impacte das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
- Princípio 4 - Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental;
- Princípio 5 - Fomentar as vivências socioeconómicas sustentáveis;
- Princípio 6 - Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação.



Figura 2.6 – Vertentes e áreas LiderA

A ferramenta LiderA funciona segundo seis vertentes que se subdividem em vinte e duas áreas, na Figura 2.6, a verde encontramos as vertentes e, respetivamente, em cada uma delas as áreas atuantes.

Outra metodologia que é utilizada em Portugal é a **Sustainable Building Tool, SBTool^{PT}** , adaptado para o nosso país, consegue atuar na avaliação e classificação de edifícios segundo as melhores práticas e práticas convencionais.

Considera três dimensões do desenvolvimento sustentável: a dimensão ambiental, a social e a económica, divididas em 9 categorias que agrupam 30 parâmetros, no total. Na vertente ambiental engloba-se as alterações climáticas e qualidade do ar exterior, a biodiversidade, energia, utilização de materiais e produção de resíduos sólidos e consumo de água e efluentes. Na vertente social são considerados o conforto e saúde dos ocupantes, como também a acessibilidade e a sustentabilidade e educação para a sustentabilidade. E ainda, na dimensão económica é englobada a avaliação dos custos de ciclo de vida dos edifícios, incluindo os custos iniciais e custos de operação [13]

Por fim, enunciar outras metodologias, que de alguma forma, avaliam a sustentabilidade para conhecimento do leitor.

- BEPAC - Building Environmental Performance Assessment Criteria;
- CASBEE - Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency;
- HQE - Haute Qualité Environnementale dês Bâtiments;
- NABERS - National Australian Buildings Environmental Rating System;

2.5 O MÉTODO MARS-SC

A Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas foi desenvolvida pelo Professor Ricardo Mateus e Professor Luís Bragança da Universidade do Minho. Tal como o nome indica é um método de análise relativa, que permite a comparação de soluções construtivas, a partir de um estudo individualizado dos materiais isolantes, vantagem que os métodos supramencionados não demonstram ter sensibilidade de aferir pois a sua avaliação é feita de forma global.

O método considera indicadores: ambientais, funcionais e económicos.

Partindo desta premissa, a avaliação da sustentabilidade será feita a partir de indicadores selecionados, exemplificados no Quadro 2.3 e contextualizados no capítulo seguinte.

Quadro 2.3 – Exemplos de indicadores ambientais, funcionais e económicos (adaptado [4])

Ambiental	Funcionais (Sociais)	Económicos
• Alterações climáticas; • Destruição da camada do ozono; • Acidificação • Eutrofização • Formação de oxidantes fotoquímicos • Esgotamento de recursos não-renováveis • Formação de poluentes	• Qualidade dos edifícios; • Efeitos da construção relacionados com a saúde e segurança dos utilizadores; • Acessibilidade; • Satisfação dos utilizadores; • Qualidade arquitetónica dos edifícios; • Proteção do património cultural;	• Investimento; • Utilização (consumo de energia, água, etc.); • Desconstrução e tratamento de resíduos; • Desenvolvimento do valor económico do edifício; • Receitas geradas pela construção;

Após esta seleção tem de se proceder à quantificação dos parâmetros relativos aos indicadores selecionados e à e normalização de cada um deles.

A normalização é feita através da fórmula

$$\overline{P_i} = \frac{P_i - P_{*_i}}{P_i^* - P_{*_i}} \forall i$$

De acordo com o autor, nesta equação, P_i representa o resultado da quantificação do parâmetro i. P_i^* e P_{*i} são respetivamente o melhor e o pior resultado do parâmetro de i.

Acrescentando ainda, que a normalização dos parâmetros considerados na avaliação da sustentabilidade torna-os adimensionais e converte-os numa escala limitada entre 0 (pior valor) e 1 (melhor valor). Esta fórmula é assim válida quando o parâmetro é do tipo "quanto maior melhor" e quando é do tipo "quanto maior pior".

Para facilitar a compreensão destes parâmetros, que podem por vezes ser numerosos, estabeleceu-se dentro de cada indicador um peso respetivo. Este valor corresponderá ao desempenho relativo de cada solução. O desempenho parcial da solução ao nível de cada indicador (Ij) é calculado de acordo com o método de agregação apresentado na equação [2].

$$I_j = \sum_{i=1}^{n} w_i . \overline{P_i} \qquad [2]$$

Nesta equação, Ij é a média ponderada de todos os parâmetros normalizados P_i pertencentes ao indicador j e wi representa o peso relativo do parâmetro i. A soma de todos os pesos deverá ser igual a 1.

As equações 3 a 5 apresentam o modo como se agregam os parâmetros dentro de cada indicador para se determinar o desempenho da solução ao nível de cada dimensão do desenvolvimento sustentável.

Com,

$$I_A = \sum_{i=1}^{n} w_{Ai} . \overline{P_{Ai}} \quad (2.1)$$

$$I_F = \sum_{i=1}^{n} w_{Fi} . \overline{P_{Fi}} \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^{m} wA_i = \sum_{i=1}^{n} wF_i = 1 \quad (2.3)$$

Em que:

- $I_{A,F}$ – Desempenho de cada dimensão
- n – é o número de indicadores em estudo
- $\overline{P_{Ai}}$ - parâmetro A normalizado
- $w_{Ai,\ Fi}$ – Peso de cada indicador

O passo seguinte consiste em atribuir uma nota, após a avaliação do desempenho sustentável de cada indicador (ambiental, funcional e económico) que traduzirá o desempenho global da solução construtiva. A este parâmetro dá-se o nome de Nível de Sustentabilidade (NS) e pode ser calculado através da equação 7. Este resultado será a ponderação de cada indicador Ij com o respetivo peso (wj) na avaliação sustentabilidade. De modo a se obter uma nota sustentável entre 0 e 1, a soma dos pesos atribuídos aos três indicadores tem de ser igual a 1.

$$NS = w_{G1} . I_A + w_{G2} . I_F + w_{G3} . I_E \quad (2.4)$$

Comparando o valor de NS obtido com o valor de NS da solução de referência (NSref), pode classificar-se a sustentabilidade relativa das soluções construtivas em avaliação, de acordo com o representado no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Possível avaliação do desempenho relativo da solução em estudo a partir da NS

Nota sustentável	**Classificação de desempenho**
< NSref	Inferior
= NSref	Referência
>NSref	Superior

Segundo os autores, nos resultados finais devem também ser apresentados os desempenhos parciais da solução, ao nível dos três indicadores. Com esta análise pretende-se evitar uma incorreta leitura dos resultados causada por uma possível compensação.

Por fim, a aplicação do método termina com o perfil sustentável que traduz graficamente o valor normalizado dos parâmetros analisados, usando os gráficos radar, como a Figura 2.7 exemplifica, com o objetivo de evidenciar as diferenças de desempenho consoante cada parâmetro,

Solução construtiva	Perfil sustentável	Desempenho			Nota sustentável (NS)	Classificação do desempenho
		Amb. (NA)	Func. (NF)	Econ. (NE)		

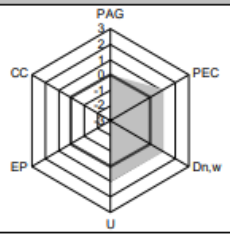


Figura 2.7 - Possível representação de um perfil sustentável resultado da aplicação de MARS-SC.

3
MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

3.1 MATERIAIS CORRENTEMENTE UTILIZADOS NOS EDIFÍCIOS

Em Portugal os materiais de isolamento térmicos mais utilizados são discriminados de seguida.

3.1.1 AGLOMERADO DE CORTIÇA



É um material natural, de matéria-prima renovável e possui capacidade de reciclagem ou reutilização. Durante o seu ciclo de vida não sofre alterações, físicas e mecânicas, sendo dimensionalmente estável.

3.1.2 LÃ DE ROCHA



Tem como principais características ser resistente à água e à humidade, possui uma grande capacidade de proteção contra o fogo, pois não propaga as chamas. É um material inofensivo para a saúde e o seu fabrico não produz sustâncias nocivas ou agressivas para o meio ambiente. De acrescentar, que funciona como bom isolante acústico. [14]

3.1.3 LÃ DE VIDRO



Apesar do aspeto frágil é um material que não se deteriora nem apodrece com o tempo, sendo fácil de manusear e cortar. Utilizado também com grande eficácia a nível acústico, é incombustível e bastante resistente às intempéries ambientais e de possíveis ataques animais. [15]

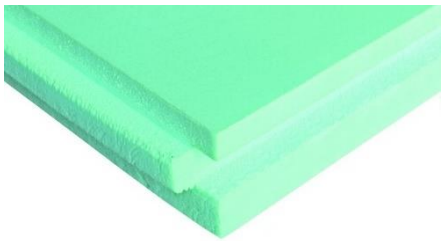
3.1.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)



Este material tem uma elevada resistência mecânica, contudo é vulnerável ao ataque do fogo, tendo como reação ao fogo a classe E.

Bastante resistente à humidade é dos isolamentos térmicos mais económicos e leves.

3.1.5 POLIESTIRENO EXTRUDIDO (XPS)



O XPS possui capilaridade nula logo apresenta um bom desempenho face à presença da água, sendo a grande diferença para o EPS. Contudo, à sua semelhança, também exibe valores de resistência mecânica elevados, fácil utilização e manuseamento.

3.1.6 POLIURETANO (PUR)



Material isolante que tem uma baixa condutibilidade térmica e uma baixa permeabilidade ao vapor de água. De salientar que consegue uma ótima aderência com outros materiais construtivos.

3.2 DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTO (DAP)

De forma a transmitir os resultados da LCA criaram-se as Declarações Ambientais de produto que reúnem um conjunto de dados ambientais quantificados, organizados por categorias predefinidas acerca do(s) produto(s) que se pretende analisar. Deste modo, procedeu-se à seleção daqueles que podem ser considerados indicadores relativamente aos impactes ambientais para avaliar a sustentabilidade de edifícios [3]:

- Alterações climáticas expressas em potencial de aquecimento global (GWP);
- Esgotamento de recursos abióticos (ADPE);
- Esgotamento de recursos fosseis (ADPF);
- Destruição da camada de ozono estratosférico (ODP);
- Acidificação do solo e dos recursos hídricos (AP);
- Eutrofização (EP);
- Formação de oxidantes fotoquímicos/ozono troposférico (POCP);
- Energia total renovável incorporada (PERT);
- Energia total não renovável incorporada (PENRT);

A vantagem de utilizar esta ferramenta é a pormenorização e fiabilidade da informação acerca do seu desempenho ambiental. De salientar que as DAP's apresentam dados que permitem qualquer uma das três abordagens às fases do ciclo de vida do material em estudo: ***cradle-to-grave*** ("do berço ao túmulo"); **cradle-to-gate** ("do berço à porta); e **cradle-to-cradle** ("do berço ao berço"). Consoante o propósito supramencionado no início desta dissertação desenvolver-se-á um estudo relativamente à fase ***cradle-do-gate*** que conjuga a extração de matérias-primas até à fase de produção do produto, discriminada como A1 (extração da matéria-prima), A2 (transporte para o local de produção) e A3 (Produção propriamente dita). Conclui-se, que será o cruzamento dos indicadores apresentados com o somatório destas 3 etapas que fornecerão a informação necessária para desenvolver o estudo a nível ambiental.

Em anexo a esta dissertação, apresenta-se um exemplo de uma EPD de aglomerado de cortiça.

3.3 CLASSIFICAÇÃO ISOLE



Figura 3.1 – Logótipo ACERMI [16]

Foi necessário, dada a diversificação dos materiais para isolamento térmico, criar uma certificação que permitisse a caracterização destes materiais e fosse, consequentemente, um suporte para uma seleção exigencial dos isolantes. Devido a esta necessidade a Association pour la Certification des Matériaux Isolants (ACERMI) criou os graus de certificação e níveis de aptidão de utilização, ou seja, para cada exigência um correspondente nível de aptidão de utilização. Portanto, caso o material possua este certificado, poderá apresentar nas suas informações o logotipo apresentado na Figura 3.1

As exigências formuladas foram as seguintes: a compressibilidade (I), a estabilidade dimensional (S), o comportamento de água (O), o comportamento mecânico (L) e a permeabilidade ao vapor de água (E), as unidades encontram-se discriminadas nas tabelas correspondentes, apresentados adiante.

Para uma análise mais clara apresenta-se do Quadro 3.1 ao Quadro 3.5 o funcionamento destes parâmetros desta metodologia ISOLE:

Quadro 3.1 - Indicador I - Níveis de Compressibilidade

Nível	Deformação
I1	Δe/e ≤ 25%
I2	C ≤ 12 mm
I3	C ≤ 3 mm
I4	C ≤ 0.5 mm
I5	C ≤ 0.3 mm

Em que:

- C: representa a perda de espessura após aplicação progressiva, por patamares (24h), de uma pressão de 0,01 MPa, conforme NF P 75-301.

- Δe/e: variação relativa de espessura sob pressão de 100 Pa, em relação a uma pressão inicial de 50 Pa, conforme NF B 20-101 (não são admitidos valores individuais superiores a 35%)

Quadro 3.2 – Indicador S - Níveis de Estabilidade Dimensional

Nível	Exigências
S1	$\|S_n\| + \| V_{HR}\| \leq 0.01$ m/m
S2	$G \times \|S_n\| \times e \leq 400$ Pa.m
S3	$\|S_f\| \leq 0.004$ (*) m/m
S4	$(50 \times \alpha + \|V_{HR}\| + \|S_f\|) \times G \leq 15 \times 10^3$ Pa
(*) sem valores individuais > 0.0045 m/m	

Em que:

- S_n: retração ou dilatação natural relativa, a partir da saída da fábrica (m/m);

- S_f: retração ou dilatação a 20ºC, após aquecimento a 70ºC durante 7 dias (m/m);

- V_{HR}: variações dimensionais relativas em função da humidade relativa entre dois ambientes a 20ºC/15 % HR e 20ºC/ 90% HR (m/m);

- α: coeficiente de dilatação térmica linear (C^{-1});

- G: módulo de elasticidade transversal (Pa), obtido conforme NF T 56-118;

- e: espessura de isolamento (m)

Os parâmetros "S_n" e "V_{HR} "são determinados após uma estabilização, entre duas medições consecutivas, menor que 0,05 mm.

Quadro 3.3 – Indicador O - Níveis de Comportamento de Água

Nível	Exigências
O1	Variação de espessura após humidificação parcial (*) < 7,5 % Teor de humidade higroscópico(#) (% em peso) < 15 % Teor de humidade higroscópico(#) (% em volume) < 1,5 %
O2	Não hidrófilo (+)
O3	Impermeabilidade à água em ensaio de absorção por gravidade (em 24h)(o) Teor de humidade higroscópico(#) (% em volume) < 0,05 %

*- projeção de um litro de água sobre um provete de 0,35×0,35 m e medição da espessura sob a ação de 50 Pa
#- O teor da humidade higroscópico é obtido pela diferença entre dois
+- conforme NF P 75-305
o- conforme NF P 75-302

Quadro 3.4 – Indicador L - Níveis de comportamento mecânico em coesão e flexão

Nível	Exigências
L1	$R_L > P$
L2(*)	D ≤ 0,12 m
L3(#)	Rt≥ 0,05 MPa Ar ≥ 1,5 %
L4(+)	Rt≥ 0,18 MPa A_r ≥ 1 %

*- define o limite de inclusão na família dos isolantes semi-rígidos
#- valores a satisfazer por pelo menos 95% dos provetes
+- valores a satisfazer por pelo menos 80% dos provetes

Em que:

- R_L : resistência em tração longitudinal (N);

- P : peso de 10 metros para os produtos em rolo ou 3 painéis, com a mesma espessura e largura que os provetes de ensaio (N);

- D : deformação por peso próprio (afastamento, em suspensão, de 0,35m do provete em relação a um plano de referência) (m);

- Rt : resistência por tração perpendicular às faces (MPa);

- A_r : alongamento à rotura (%)

Quadro 3.5 – Indicador E - Níveis de permeância ao vapor de água

Nível	PERMEÂNCIA – P = π/e (Kg/ (m².s.Pa)) (*)
E1	$P > 6{,}25 \times 10^{-10}$
E2	$1{,}25 \times 10^{-10} < P \leq 6{,}25 \times 10^{-10}$
E3	$3.13 \times 10^{-11} < P \leq 1{,}25 \times 10^{-10}$
E4	$2{,}08 \times 10^{-12} < P \leq 3.13 \times 10^{-11}$
E5	$P \leq 2{,}08 \times 10^{-12}$

*-1 Kg/ (m^2.s.Pa) = $4{,}808 \times 10^8$ g/ m^2.h.mmHg)
e – espessura do isolante (m)

De notar que cada material tem características inerentes como a resistência térmica (R), expressa em (m2 ºC) /W e a condutibilidade térmica (λ), expressa em W/ (mº C), que também foram tidas em conta.

Para que o material seja considerado um isolante térmico a condutibilidade térmica tem de ter o valor igual ou inferior 0,065 W/ (mº C) quanto que o R terá de ser maior ou igual a 0,5 (m2 ºC) /W.

Numa perspetiva qualitativa, o comportamento ao fogo também é relevante face às exigências dos edifícios e dos desfechos mortais que daí podem advir. A norma EN 13501-1:2018 prevê 7 classes de reação ao fogo para os materiais: A1, A2, B, C, D, E e F.

Sendo A1 a classe a que pertencem os materiais que menos contribuem para o desenvolvimento do fogo e F a classe daqueles com maior contributo.

3.4 EXIGÊNCIAS POR TIPO DE USO

A utilização de determinado isolamento térmico, consoante a sua finalidade, requer que este tenha um certo desempenho. Para cada exigência as competências mínimas necessárias variam e demonstram-se pelos quadros 10 e 11. Estes explicam como os isolamentos têm que se comportar para cada tipo de uso e conseguimos ter um ponto de partida para sustentar uma possível escolha do material a empregar. Por isso, desde que o material cumpra os requisitos mínimos estará apto.

Quadro 3.6 - Níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes térmicos em paredes (adaptado)

Nº	Solução	I	S	O	L	E
	Paredes simples com isolante interior					
1	Complexo com isolante contínuo					
	Complexo pré-fabricado	1	2	2	3	2ou3(3)
	Complexo executado "in situ"	1	2	2	3	2ou3(3)
	Paredes simples com isolante exterior					
2	Fachada ventilada	1	1	2	2	1
3	ETICS	2	4	3	4	2
	Paredes duplas com isolante na caixa de ar					
4	Isolante preenchendo parcialmente a caixa de ar	1	1ou2(4)	2	2	(2)
5	Isolante preenchendo totalmente a caixa de ar	1	1ou2(4)	3	2	(2)

(2) - Consultar Quadro 3.8 – Correspondência entre a classe de higrometria dos locais interiores e a exigência "E"
(3) – E_3 em zonas I_3 do RCCTE e de forte higrometria (Consultar Quadro 3.9)
(4) – É recomendável o nível S_2

Quadro 3.7 - Níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes térmicos em coberturas. (adaptado)

Nº	Solução	I	S	O	L	E
	Coberturas horizontais em terraço com isolante exterior					
7	Isolante sob sistema de impermeabilização	(1)	3	2	3	2 (2)
8	Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	(1)	2	3	4	2
	Coberturas inclinadas – desvão não acessível, ventilado e com isolante sobre laje horizontal					
9	Isolante sobre laje horizontal	1	1	1	1	1
	Coberturas inclinadas – desvão com acessibilidade limitada a arrumos sem condições de habitabilidade, ventilado e com isolante sobre laje horizontal					
10	Isolante sobre laje horizontal de betão armado com proteção contínua	(1)	1	2	2	(3)
11	Isolamento sobre laje horizontal de betão armado com proteção fracionada	(1)	1	1	1	2
	Coberturas inclinadas com isolante nas vertentes					
12	Isolante interior contínuo associado à estrutura descontínua	1	1	1	1	1
13	Isolante exterior sobre laje inclinada (4)	3	1	2	2	1

(1) - Consultar Quadro 3.9 – Valor da exigência "I" em função da carga
(2) – Prevê para-vapor sob o isolante

(3) – Consultar Quadro 3.8 – correspondência entre a classe higrometria dos locais interiores e a exigência "E". No caso do isolante térmico não possuir um nível da exigência "E" suficiente, prever um para-vapor de permeância equivalente sob o isolante.
(4) – Ventilação obrigatória do espaço de ar.

Quadro 3.8- Exigência de permeância "E" dos isolantes térmicos em função da higrotmetria dos locais interiores (adaptado)

Higrometria	**Tipo de locais**	**Exigência "E"**
Média: 2,5< W/(n.V) < 5.0g/m^3	Habitações	3
- W – produção de vapor no interior (g/h); n – número de renovações horárias (h^{-1}); V – volume interior (m^3)		

Quadro 3.9 - Exigências de compressibilidade "I" dos isolamentos térmicos em função da carga a que estão sujeitos (adaptado)

Carga total (*)	**Exigência "I"**
Carga ≤ 5 KN/ m^2	3
5 KN/ m^2 < Carga ≤ 10 KN/ m^2	4
Carga > 10 KN/ m^2	5
***- A carga total inclui peso próprio e sobrecarga, excluindo qualquer fator majorativo.**	

Com base em toda a informação mencionada foi iniciado o processo de seleção dos materiais isolantes apresentado no capítulo 4 detalhadamente.

4
APLICAÇÃO DO MÉTODO MARS-SC À SELEÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO

4.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS A ESTUDAR E DIMENSÃO FUNCIONAL

Inicialmente, ponderava-se utilizar os indicadores ambientais, funcionais e económicos. Porém, após interpretação das informações encontradas, constatou-se que a informação retirada da classificação ISOLE, atribuída pela ACERMI, não aferia o nível funcional dos isolamentos térmicos de uma forma passível de ser utilizada no método MARS-SC. Dois materiais podem ter a mesma classificação para um determinado indicador, contudo terem valores diferentes para a propriedade física correspondente a esse indicador, uma vez que este corresponde a um intervalo de valores. Por outro lado, não é possível usar diretamente os valores dos indicadores ISOLE, no método MARS-SC. Demonstra-se, destacado, um exemplo, na Figura 4.1 do problema relatado.

Materiais isolamentos térmicos	Classificação ACERMI				
	I	S	O	L	E
X	5	2	**3**	**4**	**3**
Y	5	2	**3**	**4**	**3**
W	5	2	**3**	**4**	**3**
Z	4	1	**3**	**4**	**3**

Figura 4.1 - Exemplo de ISOLE para aplicação do método.

Para análise comparativa dos materiais mencionados na Figura 4.1, ao possuírem a mesma classificação, num determinado indicador, o método MARS-SC não tem possibilidade de proceder a uma normalização de valores destes parâmetros, (neste exemplo, a O, L e E).

No entanto, a classificação ISOLE é fundamental para a nossa seleção de materiais de isolamento térmico na aplicação em fachadas e coberturas. Por isso, a escolha de materiais partiu dos valores desta avaliação, não como parâmetro para o método, mas como indicador que nos garantia a possibilidade de utilizar um dado isolamento térmico numa dada utilização. Com esta seleção prévia do ponto de vista funcional, fica também coberta a dimensão funcional, sem, no entanto, a integrar diretamente na aplicação do método MARS-SC.

O Quadro 4.1 apresenta para cada material selecionado a classificação ISOLE, para comprovar ao leitor os resultados que serão apresentados no capítulo seguinte e os isolamentos escolhidos.

De forma a uniformizar os isolamentos térmicos, não dando relevância de qualquer espécie a marcas, cada material de isolamento analisado é designado por uma letra.

Quadro 4.1 - Classificação ISOLE e possíveis utilizações dos isolamentos térmicos.

Material	ACERMI					Tipo de material	Utilizações
	I	S	O	L	E		
A	5	2	3	3	5	Vidro celular	Fachadas ventiladas; Coberturas inclinadas;
B	5	2	3	4	5	Vidro celular	Fachadas ventiladas; Coberturas inclinadas; Coberturas planas (2).
C	5	2	3	3	5	Vidro celular	Fachadas ventiladas; Coberturas inclinadas;
D	5	2	3	4	5	Vidro celular	Fachadas ventiladas; Coberturas inclinadas com isolamento nas vertentes; Coberturas planas(2).
E	2	5	3	4	3	EPS	ETICS; Fachadas com isolamento pelo interior; Fachadas ventiladas.
F	3	5	3	4	3	EPS	ETICS; Fachadas com isolamento pelo interior; Fachada ventilada; Coberturas inclinadas; Coberturas planas (3).
G	3	5	3	4	3	EPS	ETICS; Fachadas com isolamento pelo interior; Fachada ventilada; Coberturas inclinadas; Coberturas planas(3).
H	3	5	3	4	3	EPS	ETICS; Fachadas com isolamento pelo interior; Fachada ventilada; Coberturas inclinadas; Coberturas planas(3).
I	1	2	2	3	3	EPS	Fachadas com isolamento pelo interior; isolamento na caixa de ar parcialmente preenchida; Cobertura inclinada com isolamento interior
J	5	2	3	4	3	EPS	Fachadas com isolamento pelo interior; isolamento na caixa de ar parcial e totalmente preenchida; Cobertura planas(2); Coberturas inclinadas.
K	5	2	3	4	3	XPS	Fachadas com isolamento pelo interior; isolamento na caixa de ar parcial e totalmente preenchida; Cobertura planas(2); Coberturas inclinadas.
L	5	2	3	4	3	XPS	Fachadas com isolamento pelo interior; isolamento na caixa de ar parcial e totalmente preenchida; Cobertura planas (2); Coberturas inclinadas.
M	5	2	3	4	3	XPS	Fachadas com isolamento pelo interior; Isolamento na caixa de ar parcial e totalmente

							preenchida; Cobertura planas [(2)]; Coberturas inclinadas.
N	4	1	3	4	3	EPS	Fachada ventilada; Isolamento na caixa de ar parcial e totalmente preenchida; Coberturas inclinadas.
O	2	2	2	3	2	EPS	Fachadas com isolamento pelo interior; Fachada ventilada;
P	3	3	2	3	2	ICB	Fachadas com isolamento pelo interior; Coberturas inclinadas; Cobertura plana[(1)];
Q	5	2	3	4	5	Vidro Celular	Fachadas ventiladas; Cobertura plana[(2)]; Cobertura inclinada com isolamento exterior.
R	5	1	2	2	4	PIR	Fachada ventilada; Coberturas inclinadas.
S	5	1	3	4	4	XPS	Fachada ventilada; Coberturas inclinadas.
T	4	1	3	2	4	PUR	Fachada ventilada; Coberturas inclinadas

(1) – Cobertura plana tradicional
(2) – Cobertura plana invertida
(3) – Cobertura plana tradicional e plana invertida

De salientar, que o mesmo material pode ser usado em soluções construtivas diferentes daí que a sua designação será sempre a mesma independentemente da sua aplicação.

O Quadro 4.2 sintetiza a informação mais relevante acerca dos materiais em estudo.

Quadro 4.2 - Informações relativas aos isolamentos térmicos em estudo

Material	**Tipo de material**	**Densidade**	**Classe de reação ao fogo**	**Condutibilidade térmica (λ)**
		Kg/m³		**W/ (mº C)**
A	Vidro celular	95	A1	0,036
B	Vidro celular	130	A1	0,045
C	Vidro celular	110	A1	0,041
D	Vidro celular	165	A1	0,050
E	EPS	16,8	E	0,031
F	EPS	16,8	E	0,031
G	EPS	15	E	0,038
H	EPS	13,5	E	0,031
I	XPS	30	F	0,038
J	EPS	13	E	0,036
K	XPS	30	E	0,033
L	XPS	35	E	0,034
M	XPS	30	E	0,033
N	EPS	30	E	0,033
O	EPS	8,1	E	0,032
P	ICB	130	E	0,040
Q	Vidro celular	165	A2	0,050
R	PIR	30,1	F	0,022
S	XPS	50	E	0,040
T	PUR	66,9	F	0,022

Como é visível pelos quadros apresentados no presente capítulo, a maioria dos materiais utilizados são XPS e EPS, pois a informação disponibilizada nas plataformas próprias é escassa,

sobretudo para outros materiais. A título de exemplo, não foi aplicado nenhum isolamento de lã mineral e/ou lã de rocha pois apesar de constar na tabela disponibilizada pela ACERMI [16], não possui informação concreta sobre os valores dos indicadores ISOLE, logo não conseguiríamos fazer corresponder estes materiais a possíveis utilizações de fachada e/ou cobertura.

A pesquisa de informação para esta dissertação apresenta um inconveniente que influenciou, também, os resultados finais. Muitos isolamentos térmicos possuíam certificação ACERMI, mas não apresentavam declaração ambiental. Por um lado, conseguiu-se uma vasta lista de isolamentos capazes de satisfazer as necessidades de utilização, para os quais não tínhamos informação ambiental. Por outro lado, como tínhamos uma vasta lista de materiais isolantes com declarações ambientais discriminadas sem classificação funcional.

Portanto, em alguns isolamentos térmicos introduziu-se uma incerteza adicional na vertente ambiental, utilizando-se uma estimativa dos seus impactos. Definiu-se que o indicador funcional ia ser o ponto de partida de seleção de materiais, e na definição dos parâmetros ambientais, quando não se tinha informação disponibilizada pela DAP correspondente, utilizou-se a informação de outro isolante com a mesma condutibilidade térmica, tipo de material e sempre densidade semelhante e fosse do mesmo local de extração (por estarmos numa fase cradle-do-gate).

4.2 INDICADORES AMBIENTAIS

Após apreciação dos parâmetros ambientais, no subcapítulo 3.2 mencionados, decidiu-se que as alterações climáticas expressas em potencial de aquecimento global (GWP), a energia total não renovável incorporada (PERNT) e a percentagem da energia total renovável (% ENR) iam ser os três indicadores para avaliar o nível de sustentabilidade na aplicação do método MARS-SC,

Definiu-se que os pesos relativos de cada parâmetro iam ser 0,4, 0,3 e 0,3 respetivamente.

Os pesos atribuídos, sendo uma escolha do utilizador, são algo que não é consensual. No presente caso, a atribuição dos pesos, foi feita segundo a sensibilidade da autora para as questões ambientais julgadas mais importantes. Como sabemos as alterações climáticas são cada vez mais acentuadas e o aquecimento global uma enorme preocupação, pelo que, este indicador terá um peso de 40%. Por outro lado, o consumo de energia não renovável é igualmente preocupante. Finalmente, é necessário promover a substituição das fontes de energia renovável por fontes de energia renovável, pelo que este é um parâmetro também muito relevante. Aos indicadores relativos à energia foi atribuído o mesmo peso, 30%.

4.3 INDICADORES ECONÓMICOS

Na vertente económica estudaram-se as componentes específicas do custo de compra (CC) por €/m^2, o custo de instalação (CI) €/m^2 e o custo de manutenção (CM) €/m^2. Em que o Quadro 4.3 demonstra os pesos atribuídos a cada indicador.

Quadro 4.3 - Pesos relativos ao indicador económico.

Indicador	Pesos
CC	0,5
CI	0,2
CM	0,3

Deu-se preponderância ao custo de compra do material porque é o fator que, a priori, os utilizadores têm mais em consideração quando analisam os materiais isolantes, deste modo, atribui-se um peso de 50% a este indicador. O custo de manutenção esta intrinsecamente ligado

ao ciclo de vida dos materiais e uma vez preocupados com a sustentabilidade das soluções construtivas o peso atribuído ao CM é superior ao CI.

4.4 ANÁLISE GLOBAL

Com a informação mencionada nos capítulos iniciais, é de fácil compreensão que se se contabilizasse os três indicadores, na aplicação do método de MARS-SC, os indicadores ambientais e funcionais seriam aqueles com uma ponderação maior em detrimento do indicador económico. Portanto para uma análise que possa ser considerada razoável, sem descredibilizar a harmonia destes dois parâmetros, mas valorizando o aspeto ambiental, atribuíram-se os pesos apresentados no Quadro 4.4 -Ponderação global na aplicação do método MARS-SC. Que traduzem assim a ponderação global.

Quadro 4.4 -Ponderação global na aplicação do método MARS-SC

Indicadores	Pesos
Ambiental	0,65
Económica	0,35

Deste modo, no capítulo seguinte, o capítulo 5, apresentam-se, consoante os materiais isolantes citados, os resultados da aplicação do método de MARS-SC às diversas soluções construtivas para fachadas e coberturas. Indicadores ambientais e económicos, bem como respetivas ponderações manter-se-ão constantes ao longo de toda a análise.

5
APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PARA PAREDES EXTERIORES

5.1.1 ISOLAMENTO PELO EXTERIOR

5.1.1.1 ISOLAMENTO ETICS

O estudo realizado sobre os isolamentos para aplicação ETICS encontra-se apresentados nos Quadro 5.1, Quadro 5.2 e Quadro 5.3. Os gráficos radar estão discriminados na Figura 5.1 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada ETICS. A solução de referencia (**EPS F**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.Figura 5.1.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	PAG	ENR	%ER	CC	CI	CM
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
EPS E	3,80	90,00	3,00	8,15	43,79	6,11
EPS F	3,68	90,00	3,00	29,30	41,58	6,04
EPS G	9,70	253,00	1,00	38,42	41,70	5,87
EPS H	7,80	203,00	1,00	10,66	42,37	5,94

Quadro 5.1 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachada ETICS.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	PAG	ENR	%ER	CC	CI	CM
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
EPS E	3,80	90,00	3,00	8,15	43,79	6,11
EPS F	3,68	90,00	3,00	29,30	41,58	6,04
EPS G	9,70	253,00	1,00	38,42	41,70	5,87
EPS H	7,80	203,00	1,00	10,66	42,37	5,94

Quadro 5.2 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachada ETICS.

Solução	**Ambiental**	**Económico**

Indicador	PAG	ENR	%ER	CC	CI	CM
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	**0,3**	**0,3**	**0,5**	**0,2**	**0,3**
EPS E	0,98	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00
EPS F	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	0,29
EPS G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	1,00
EPS H	0,32	0,31	0,00	0,92	0,64	0,71

Quadro 5.3 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	**Desempenho**		**Nível de Sustentabilidade (NS)**
	Ambiental (NA)	**Economico (Ne)**	
	0,65	**0,35**	
E	0,99	0,50	0,82
F	1,00	0,44	0,80
G	0,00	0,49	0,17
H	0,22	0,80	0,42

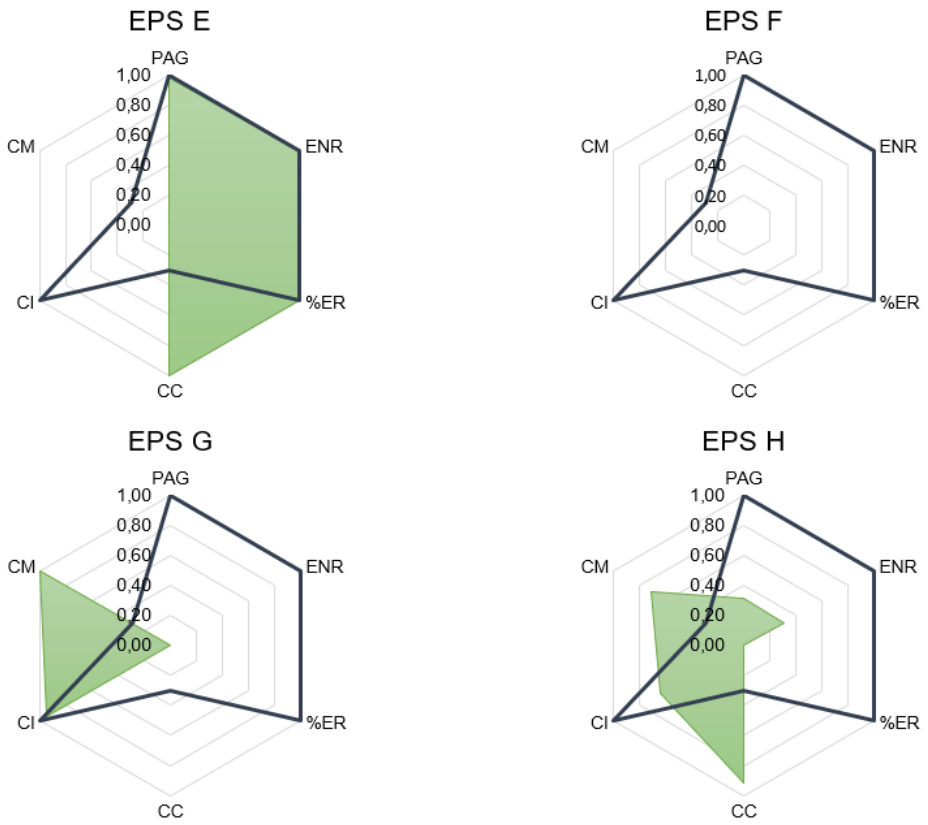


Figura 5.1 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada ETICS. A solução de referencia (**EPS F**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

A **solução EPS F** é a nossa solução de referência, apresenta um excelente desempenho a nível ambiental e um razoável desempenho económico, tendo o melhor custo de instalação não é dos materiais mais baratos de adquirir.

A melhor solução encontrada foi a **solução de EPS E**. O custo de compra do material, por m^2, é o mais baixo, contudo o custo de instalação e o custo de manutenção são os mais elevados, fazendo com que esta solução a nível económico seja a segunda melhor mesmo assim.

As **soluções G** e **H** encontram-se abaixo do nível de referência. Por um lado, temos uma EPS que não é nada sustentável a nível ambiental mas apresenta um desempenho a nível económico razoável apesar de ser o material mais caro, comparativamente as outras soluções. Por outro lado, a **solução H** é a nível económico a melhor, mas na vertente ambiental é medíocre.

5.1.1.2 ISOLAMENTO PELO EXTERIOR EM FACHADA VENTILADA

Na análise de fachadas ventiladas os resultados obtidos encontram-se na nos Quadro 5.4, Quadro 5.5 e Quadro 5.6. Na Figura 5.2 representaram-se os gráficos radar correspondentes.

Quadro 5.4 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachada ventilada.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²

Vidro celular A	1,45	23,00	38,00	23,32	7,93	0,87
Vidro celular B	1,44	13,30	21,80	19,62	11,18	0,87
Vidro celular C	5,80	67,00	40,00	18,66	8,73	0,66
Vidro celular D	10,90	188,00	40,00	23,86	11,32	0,66

Quadro 5.5 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachada ventilada.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	**0,3**	**0,3**	**0,5**	**0,2**	**0,3**
Vidro celular A	1,00	0,94	0,89	0,10	1,00	0,00
Vidro celular B	1,00	1,00	0,00	0,82	0,04	0,00
Vidro celular C	0,54	0,69	1,00	1,00	0,76	1,00
Vidro celular D	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00

Quadro 5.6 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	**Desempenho**		**Nível de Sustentabilidade (NS)**
	Ambiental (NA)	**Económico (NE)**	
	0,65	**0,35**	
Vidro celular A	0,95	0,05	0,64
Vidro celular B	0,70	0,42	0,60
Vidro celular C	0,72	0,80	0,75
Vidro celular D	0,30	0,45	0,35

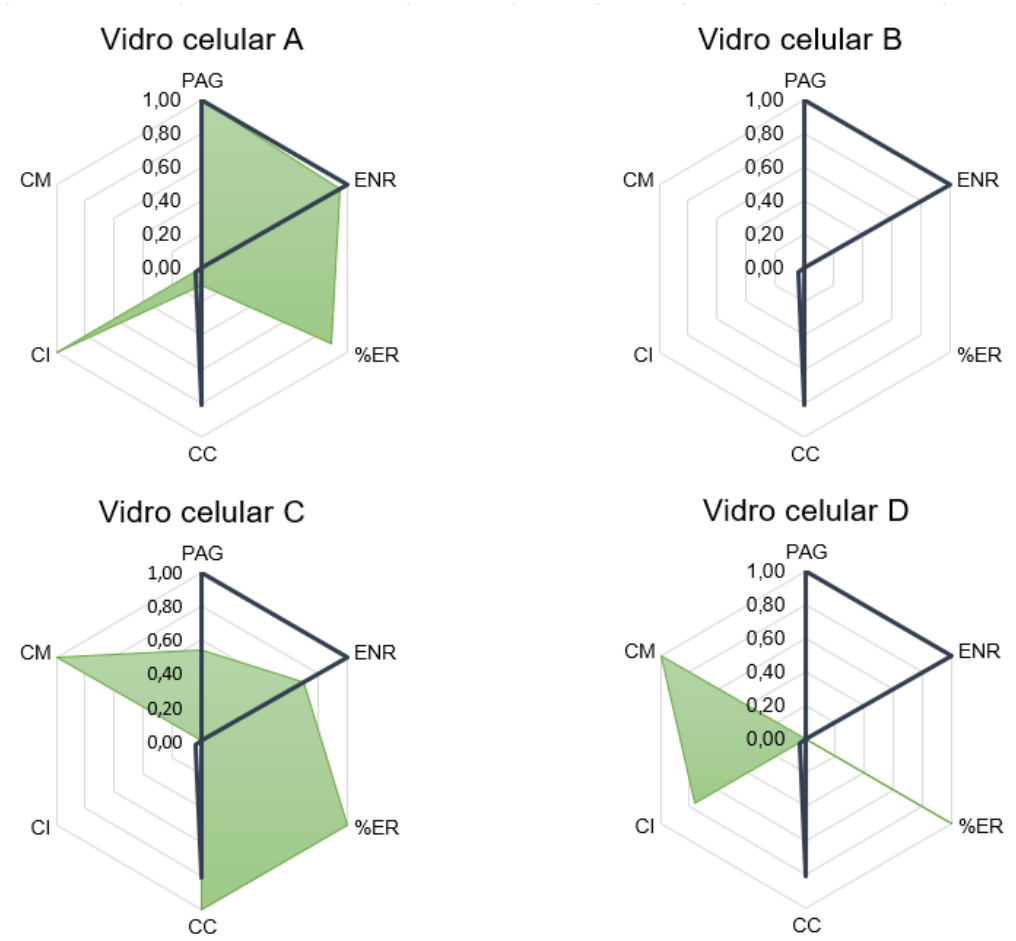


Figura 5.2 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada ventilada. A solução de referencia (**Vidro celular B**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

A solução de **Vidro celular B** apresenta um equilíbrio e um bom desempenho em ambos os parâmetros. Sendo uma solução bastante sustentável a nível ambiental.

A solução que apresenta um nível de sustentabilidade melhor é o **Vidro celular C**. Este, tem não só o melhor preço de mercado como o melhor custo de manutenção. A nível ambiental demonstra um bom desempenho.

À solução de **Vidro celular A** corresponde o melhor desempenho ambiental com 95%, contudo, também corresponde a pior percentagem de desempenho económico.

O **Vidro celular D** tem um NS de 35% ficando abaixo do nível de referência. Porém, a esta opção corresponde a melhor percentagem de energia renovável e o melhor custo e manutenção.

5.1.2 ISOLAMENTO NA CAIXA DE AR DE PAREDE DUPLA

5.1.2.1 CAIXA DE AR PARCIALMENTE PREENCHIDA

Os resultados obtidos bem como o estudo realizado encontram-se nos seguintes quadros: Quadro 5.7; Quadro 5.8; Quadro 5.9 A Figura 5.3 demonstra os gráficos radar das soluções adotadas.

Quadro 5.7 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachadas com isolamento pela caixa de ar parcialmente preenchida.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
EPS I	1,50	23,00	22,00	2,65	4,59	0,15
EPS J	47,10	1347,50	2,00	7,38	4,19	0,14
XPS K	3,74	86,50	5,00	15,25	4,29	0,16
XPS L	91,40	276,00	5,00	4,17	5,68	0,19

Quadro 5.8 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachadas com isolamento pela caixa de ar parcialmente preenchida.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	**0,3**	**0,3**	**0,5**	**0,2**	**0,3**
EPS I	1,00	1,00	1,00	1,00	0,73	0,80
EPS J	0,49	0,00	0,00	0,62	1,00	1,00
XPS K	0,98	0,95	0,15	0,00	0,93	0,60
XPS L	0,00	0,81	0,15	0,88	0,00	0,00

Quadro 5.9 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	**Desempenho**		**Nível de Sustentabilidade (NS)**
	Ambiental (NA)	**Económico (Ne)**	
	0,65	**0,35**	
EPS I	1,00	0,89	0,96
EPS J	0,20	0,81	0,41
XPS K	0,72	0,37	0,60
XPS L	0,29	0,44	0,34

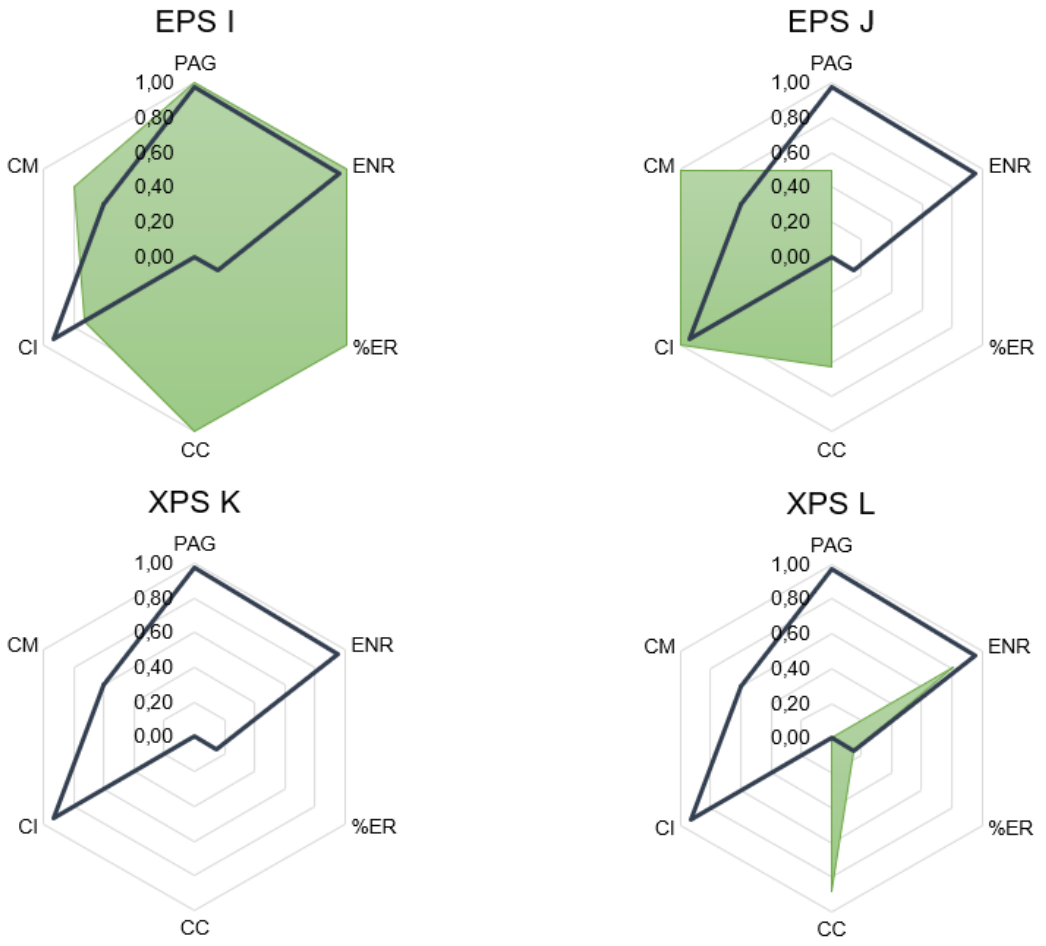


Figura 5.3 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada com isolamento pela caixa de ar parcialmente preenchida. A solução de referência (**XPS K**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

O **XPS K** é a solução construtiva de referência. Possui um exemplar desempenho a nível do potencial de aquecimento global uma vez que não contribui praticamente para o seu desenvolvimento. Apresentado também um dos melhores desempenhos ambientais destas soluções construtivas.

A melhor solução é representada pelo excelente desempenho do **EPS I,** com um nível de sustentabilidade de 96%. Atingindo mesmo os 100% a nível ambiental.

De salientar, que o **EPS J** apresenta o segundo melhor desempenho económico, mas o pior desempenho ambiental, pois a nível das energias não renováveis totais e percentagem de energia renovável apresenta os piores resultados.

5.1.2.2 CAIXA DE AR TOTALMENTE PREENCHIDA

Na presente tipologia encontram-se exibidos nos Quadro 5.10, Quadro 5.11e Quadro 5.12 os resultados adquiridos e demonstram-se na Figura 5.4 os gráficos radar correspondentes.

Quadro 5.10 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachadas com isolamento pela caixa de ar totalmente preenchida.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
EPS J	47,10	1347,50	2,00	7,38	4,19	0,14
XPS L	91,40	276,00	5,00	7,99	5,68	0,19
XPS M	3,74	86,50	5,00	8,67	4,29	0,16
EPS N	3,68	90,00	3,00	4,17	4,59	0,15

Quadro 5.11 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachadas com isolamento pela caixa de ar totalmente preenchida.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	**0,3**	**0,3**	**0,5**	**0,2**	**0,3**
EPS J	0,51	0,00	0,00	0,29	1,00	1,00
XPS L	0,00	0,85	1,00	0,15	0,00	0,00
XPS M	1,00	1,00	1,00	0,00	0,93	0,60
EPS N	1,00	1,00	0,33	1,00	0,73	0,80

Quadro 5.12 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	**Desempenho**		**Nível de Sustentabilidade (NS)**
	Ambiental (NA)	**Economico (Ne)**	
	0,65	**0,35**	
EPS J	0,20	0,64	0,36
XPS L	0,55	0,08	0,39
XPS M	1,00	0,37	0,78
EPS N	0,80	0,89	0,83

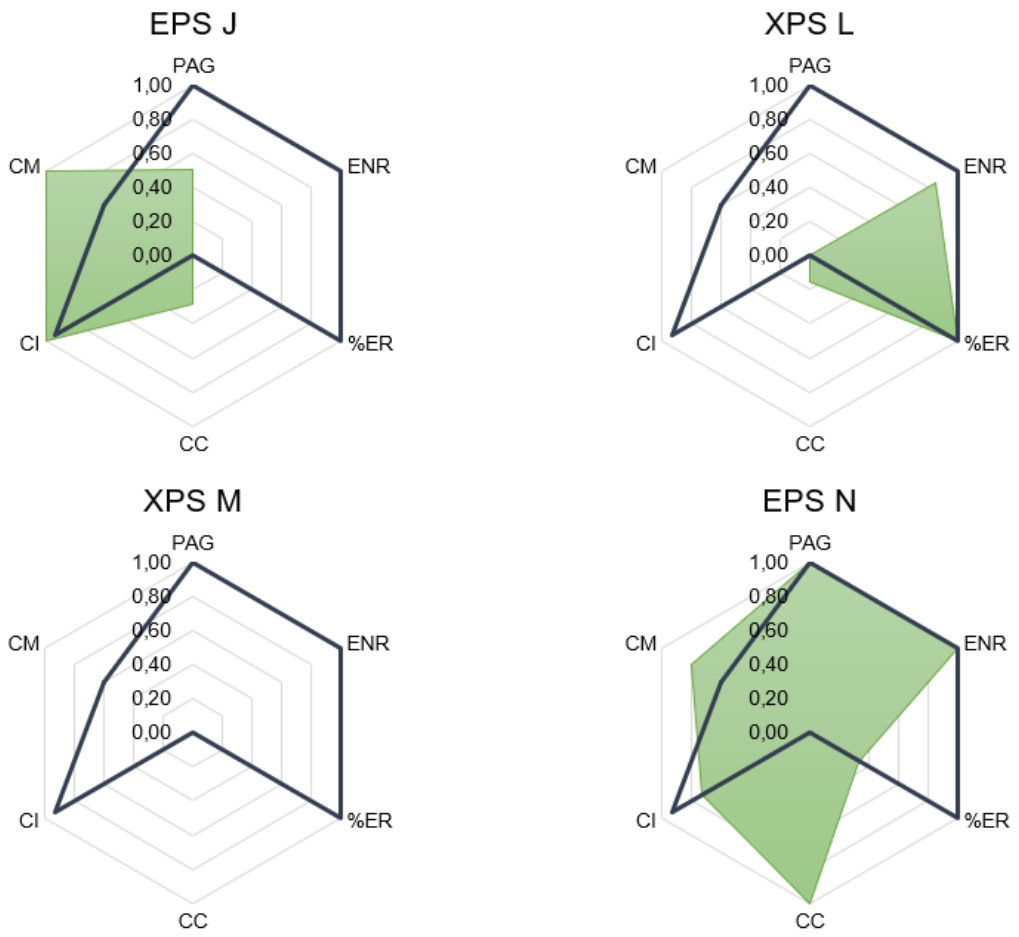


Figura 5.4 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada com isolamento pela caixa de ar totalmente preenchida. A solução de referência (**XPS M**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

A solução de referência para fachadas com isolamento pela caixa de ar totalmente preenchida é o **XPS M**, em termos ambientais apresenta o melhor desempenho, comparativamente aos restantes. Contudo a nível económico apresenta o custo de compra mais elevado.

As soluções **EPS J** e **XPS L** não atingem sequer os 40 % de sustentabilidade. Contudo, o **XPS L** a nível ambiental tem um desempenho razoável enquanto o **EPS J** tem o segundo melhor desempenho económico.

O **EPS N** representa o melhor nível de sustentabilidade. Com os melhores resultados tanto no PAG como no CC.

5.1.3 ISOLAMENTO PELO INTERIOR

O estudo realizado sobre os isolamentos para aplicação do isolamento pelo interior encontra-se discriminado nos

Quadro 5.13, Quadro 5.14 e Quadro 5.15. Os gráficos radar apresentam-se na Figura 5.5

Solução	Ambiental			Económico		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
XPS M	3,74	86,50	5,00	8,67	4,63	0,29
EPS F	3,68	90,00	3,00	15,00	4,68	0,22
EPS G	9,70	253,00	1,00	23,83	5,03	0,18
EPS O	1,50	23,00	22,00	2,65	4,81	0,15

Quadro 5.13 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para fachadas com isolamento pelo interior.

Quadro 5.14 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para fachadas com isolamento pelo interior.

Solução	Ambiental			Económico		
Indicador	PAG	ENR	%ER	CC	CI	CM
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	0,2	0,4	0,5	0,2	0,3
XPS M	0,73	0,72	0,19	0,72	1,00	0,00
EPS F	0,73	0,71	0,10	0,42	0,86	0,50
EPS G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
EPS O	1,00	1,00	1,00	1,00	0,54	1,00

Quadro 5.15 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	Desempenho		Nível de Sustentabilidade (NS)
	Ambiental (NA)	Economico (NE)	
	0,65	0,35	
XPS M	0,57	0,56	0,56
EPS F	0,53	0,53	0,53
EPS G	0,00	0,24	0,08
EPS O	1,00	0,91	0,97

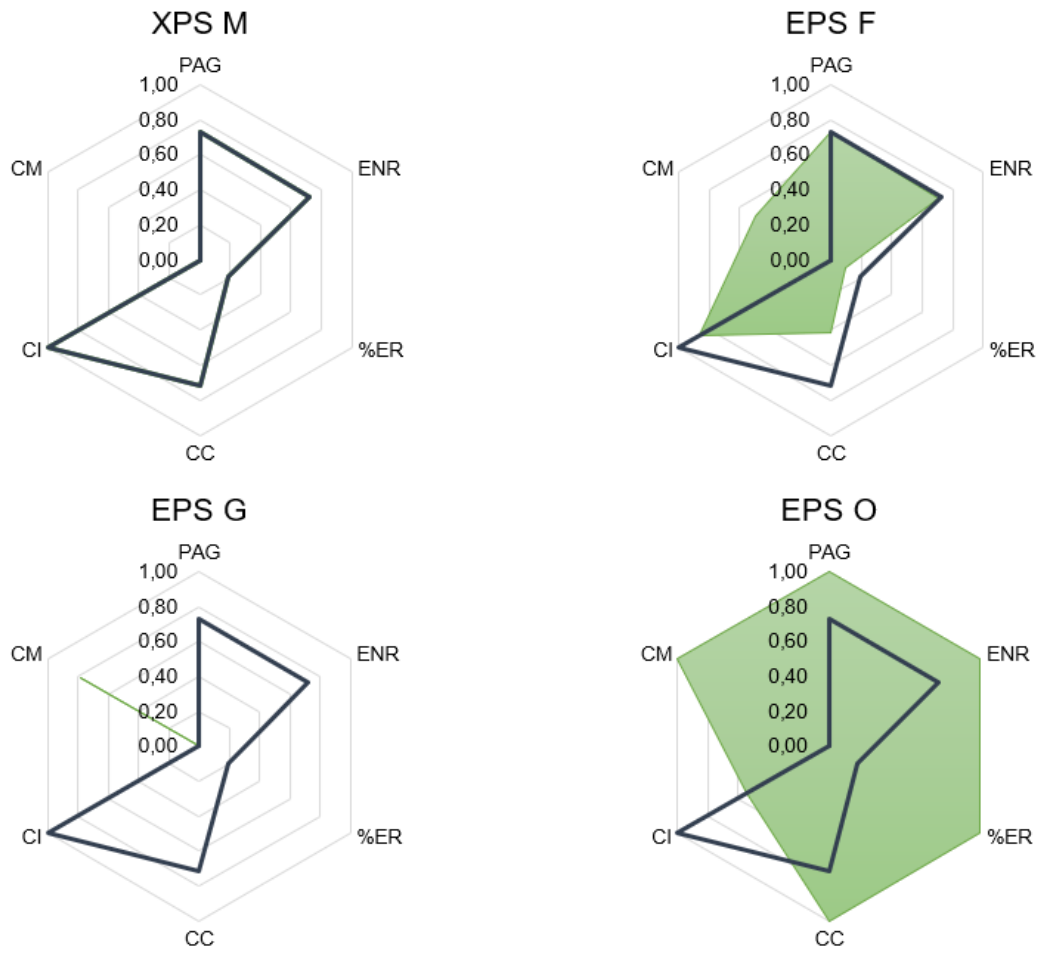


Figura 5.5 - Gráficos radar de todas as soluções para fachada com isolamento pelo interior. A solução de referência (**XPS M**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

A nível de sustentabilidade o **EPS G** apresenta o pior resultado. Obtendo um desempenho ambiental miserável, comparativamente com as outras soluções construtivas.

O **XPS M** é a nossa solução de referência apresentado um desempenho satisfatório em todos os indicadores exceto no custo de manutenção que se apresenta como sendo o mais caro.

Já a nossa solução ótima, para o isolamento térmico interior, é o **EPS O** que demonstra excelentes resultados ambientais e se apresenta como o material mais barato.

5.2 AVALIAÇÃO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PARA COBERTURAS

5.2.1 COBERTURAS INCLINADAS

5.2.1.1 ISOLAMENTO SOBRE A LAJE DE ESTEIRA

Os resultados obtidos encontram-se apresentados nos Quadro 5.16,

Quadro 5.17 e Quadro 5.18. Os gráficos radar correspondentes exibem-se na Figura 5.6.

Quadro 5.16 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para coberturas com isolamento sobre a laje de esteira.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
Vidro celular Q	9,14	140,03	29,00	24,24	12,88	0,28
XPS M	3,74	86,50	5,00	12,59	7,75	0,32
EPS E	3,80	90,00	3,00	8,15	6,83	0,20
EPS F	3,68	90,00	3,00	29,30	6,83	0,18

Quadro 5.17 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para coberturas com isolamento sobre a laje de esteira.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	**0,3**	**0,3**	**0,5**	**0,2**	**0,3**
Vidro celular Q	0,00	0,00	1,00	0,24	0,00	0,29
XPS M	0,99	1,00	0,08	0,79	0,85	0,00
EPS E	0,98	0,93	0,00	1,00	1,00	0,86
EPS F	1,00	0,93	0,00	0,00	1,00	1,00

Quadro 5.18 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	**Desempenho**		**Nível de Sustentabilidade (NS)**
	Ambiental (NA)	**Económico (NE)**	
	0,65	**0,35**	
Vidro celular Q	0,30	0,21	0,27
XPS M	0,72	0,56	0,66
EPS E	0,67	0,96	0,77
EPS F	0,68	0,50	0,62

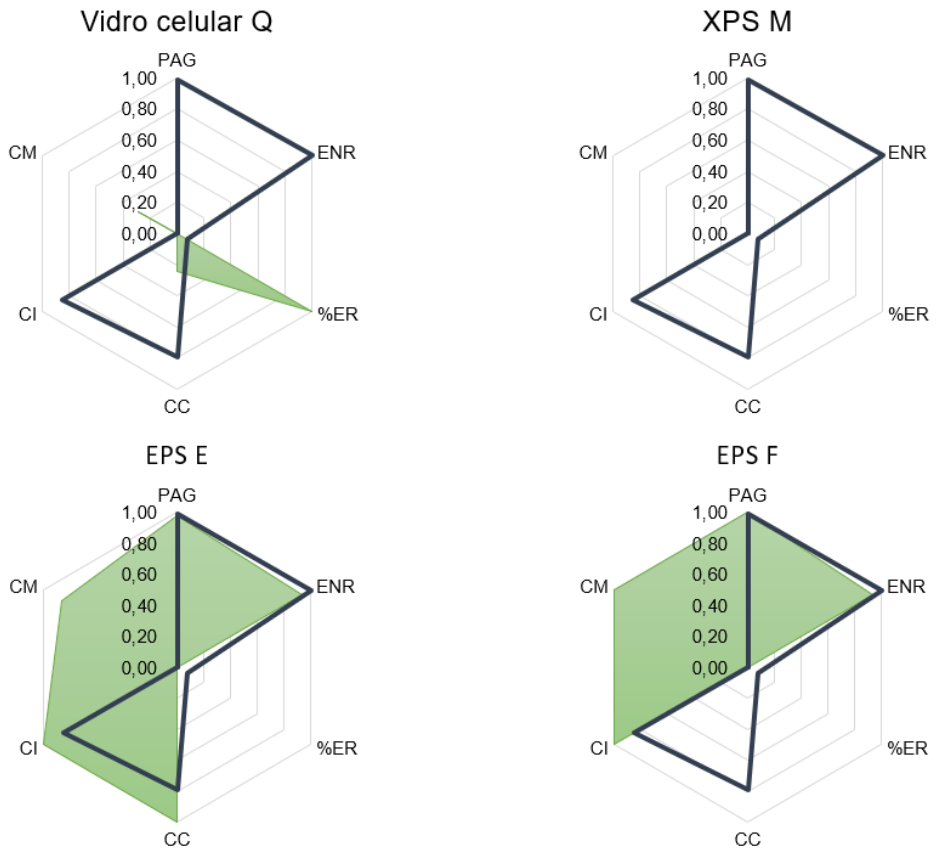


Figura 5.6 - Gráficos radar de todas as soluções para coberturas com isolamento sobre a laje de esteira. A solução de referência (**XPS M**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

A melhor solução, o **EPS E**, apresenta um nível de sustentabilidade de 77%. Porém, não tem o melhor desempenho ambiental. Na verdade, comparativamente é o terceiro melhor. A nível ambiental, a solução de referência tem o melhor desempenho. Contudo, a nível económico o material de **EPS E** tem o custo de compra e instalação mais em conta para o utilizador uma vez que o custo de manutenção é relativamente baixo.

O **Vidro celular Q** representa a solução inferior ao nível de referência, ou seja, a pior das opções em estudo.

Apesar de no indicador de aquecimento global ter o melhor resultado e um valor de energia não renovável baixo o **EPS F** representa ainda uma solução abaixo do nível de referência pois a nível económico é o material mais caro e sabemos que este indicador tem bastante peso na nossa análise.

5.2.1.2 ISOLAMENTO NAS VERTENTES

Nos Quadro 5.19, Quadro 5.20 e Quadro 5.21 apresentam-se os resultados obtidos. Os gráficos radar desta tipologia demonstram-se na Figura 5.7.

Quadro 5.19 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para coberturas com isolamento nas vertentes.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
XPS M	3,74	86,50	5,00	8,67	4,81	0,66
PUR T	12,00	249,00	5,00	76,10	4,32	0,46
ICB P	-198,00	931,00	51,00	18,79	6,23	0,70
EPS F	3,80	90,00	3,00	8,15	5,11	0,47

Quadro 5.20 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para coberturas com isolamento nas vertentes.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	**0,3**	**0,3**	**0,5**	**0,2**	**0,3**
XPS M	0,04	1,00	0,04	0,99	0,74	0,17
PUR T	0,00	0,81	0,04	0,00	1,00	1,00
ICB P	1,00	0,00	1,00	0,84	0,00	0,00
EPS F	0,04	1,00	0,00	1,00	0,59	0,96

Quadro 5.21 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	**Desempenho**		**Nível de Sustentabilidade (NS)**
	Ambiental (NA)	**Económico (NE)**	
	0,65	**0,35**	
XPS M	0,33	0,69	0,46
PUR T	0,25	0,50	0,41
ICB P	0,70	0,42	0,63
EPS F	0,31	0,90	0,35

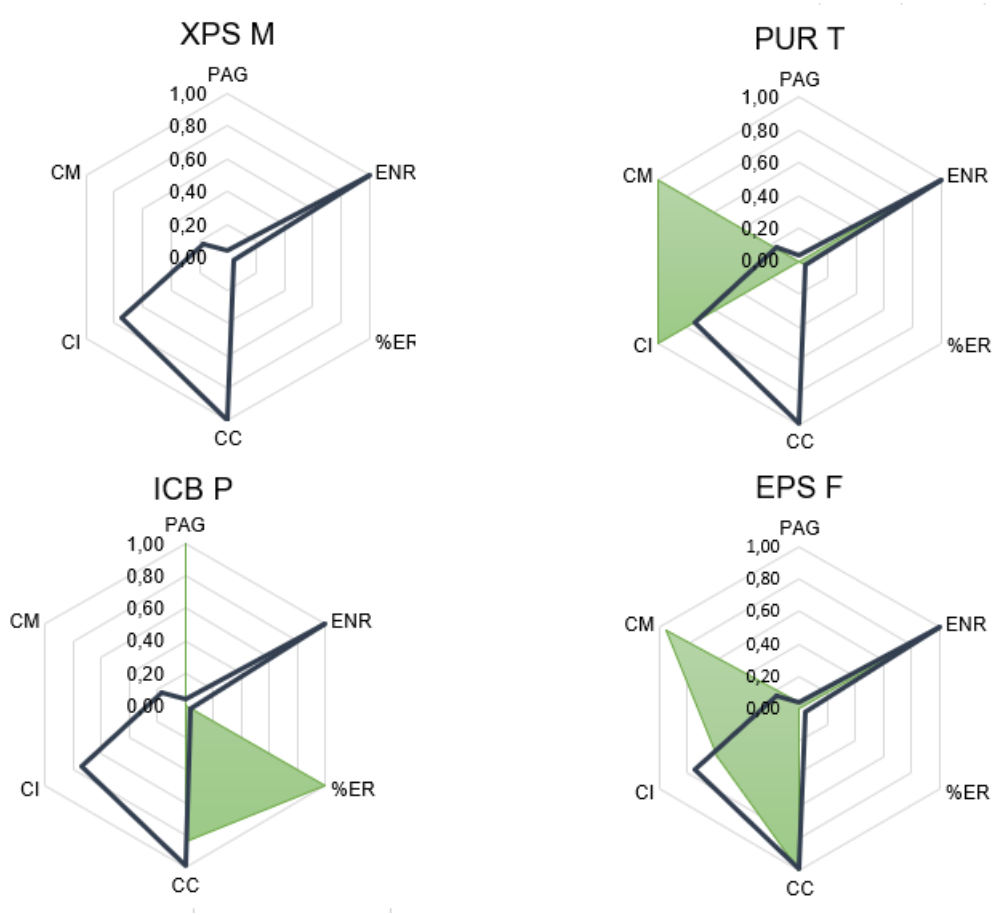


Figura 5.7 - Gráficos radar de todas as soluções para coberturas com isolamento sobre a laje de esteira. A solução de referência (**XPS M**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

A nossa solução de referência é o **XPS M**. Apesar de exibir um desempenho ambiental fraco, a nível económico apresenta bons resultados tanto no custo de compra como no custo de instalação.

Na realidade, neste conjunto de soluções construtivas, apenas o **ICB P** apresenta um bom desempenho ambiental, todas as outras têm valores que não potencializam uma satisfatória sustentabilidade. A nível económico tem um desempenho satisfatório.

Já o **EPS F** tem o melhor custo de compra. Contudo é uma solução que se encontra abaixo do nível de referência.

5.2.2 COBERTURAS PLANAS

5.2.2.1 COBERTURA TRADICIONAL

Para o estudo de isolamento a aplicar em coberturas tradicionais planas exibem-se os Quadro 5.22, Quadro 5.23 e Quadro 5.24. A Figura 5.8 acompanha esta análise demonstrando os gráficos radar associados.

Quadro 5.22 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para coberturas planas tradicionais.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
EPS F	3,68	90,00	3,00	2,59	3,41	0,18
EPS G	9,70	253,00	1,00	23,83	3,41	0,20
ICB P	-198,00	931,00	51,00	6,09	3,96	0,35
EPS H	7,80	203,00	1,00	10,66	3,41	0,16

Quadro 5.23 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para coberturas planas tradicionais.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	**0,3**	**0,3**	**0,5**	**0,2**	**0,3**
EPS F	0,03	1,00	0,04	1,00	1,00	0,89
EPS G	0,00	0,81	0,00	0,00	1,00	0.79
ICB P	1,00	0,00	1,00	0,84	0,00	0,00
EPS H	0,01	0,87	0,00	0,62	1,00	1,00

Quadro 5.24 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	**Desempenho**		**Nível de Sustentabilidade (NS)**
	Ambiental (NA)	**Economico (NE)**	
	0,65	**0,35**	
EPS F	0,32	0,71	0,46
EPS G	0,24	0,44	0,31
ICB P	0,70	0,42	0,60
EPS H	0,26	0,81	0,45

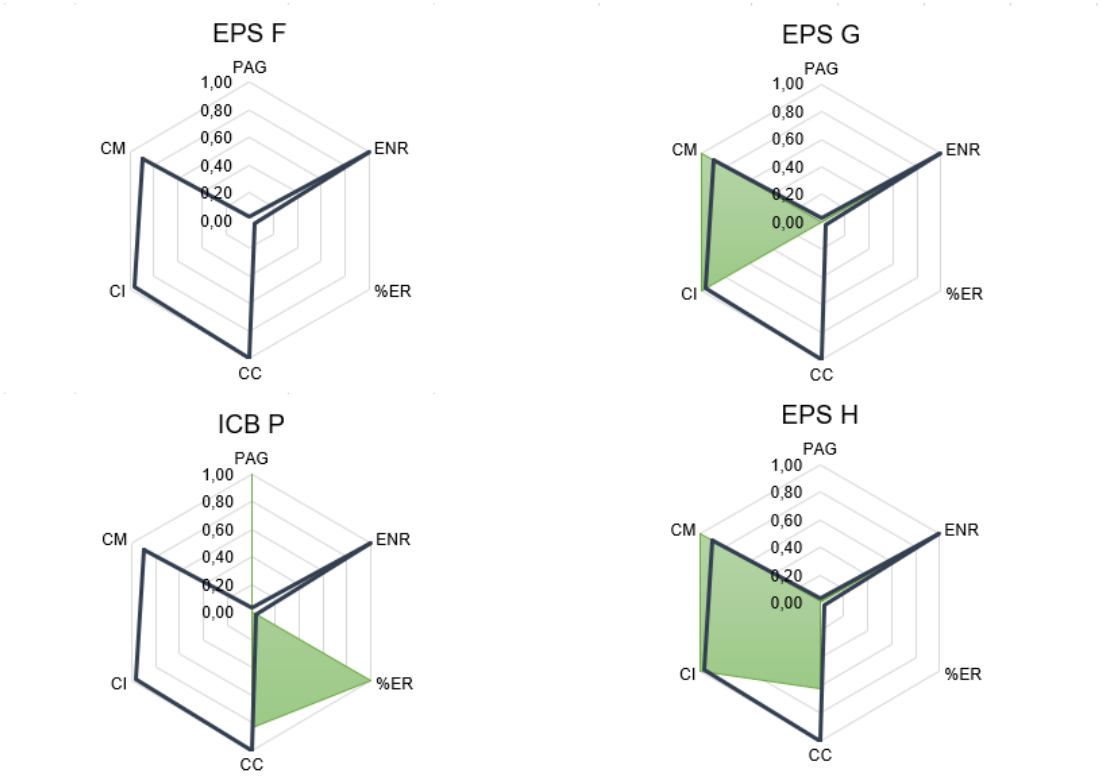


Figura 5.8 - Gráficos radar de todas as soluções para coberturas tradicionais. A solução de referência (**EPS F**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

A nível de sustentabilidade o melhor material é o **ICB P**, embora represente o desempenho ambiental mais satisfatório exibe o pior a nível económico. O custo de instalação e de manutenção deste isolante térmico, em comparação com os outros, é o mais caro.

A solução de referência selecionada foi a solução **EPS F,** comparativamente, apresenta um melhor desempenho ambiental**,** em relação aos restantes poliestirenos expandidos. Revela, ainda, um bom desempenho económico, com o melhor preço de compra.

O **EPS H** e **EPS G** encontram-se abaixo do nível referência, contudo o isolamento **H** apresenta o melhor desempenho económico.

5.2.2.2 COBERTURA INVERTIDA

Por fim, os resultados adquiridos para esta análise encontram-se discriminados Quadro 5.25, Quadro 5.26 e no Quadro 5.27. Os respetivos gráficos radar apresentam-se na Figura 5.9.

Quadro 5.25 - Valores obtidos consoante os indicadores selecionados para coberturas planas invertidas.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	PAG	ENR	%ER	CC	CI	CM
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
EPS F	3,68	90,00	3,00	1,56	1,93	0,11
Vidro celular D	10,90	188,00	40,00	23,86	7,98	0,17
EPS G	9,70	253,00	1,00	23,83	1,93	0,24
Vidro celular B	1,44	21,80	38,00	19,62	11,02	0,17

Quadro 5.26 - Indicadores normalizados das soluções adotadas para coberturas planas invertidas.

Solução	**Ambiental**			**Económico**		
Indicador	**PAG**	**ENR**	**%ER**	**CC**	**CI**	**CM**
Unidades	kg CO2 Eq / m²	MJ / m²	%	€ / m²	€ / m²	€ / m²
	0,4	**0,3**	**0,3**	**0,5**	**0,2**	**0,3**
EPS F	0,76	0,71	0,05	1,00	1,00	1,00
Vidro celular D	0,00	0,28	1,00	0,00	0,33	0,54
EPS G	0,13	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Vidro celular B	1,00	1,00	0,95	0,19	0,00	0,54

Quadro 5.27 - Desempenho de cada solução e respetivo nível de sustentabilidade.

Solução	**Desempenho**		**Nível de Sustentabilidade (NS)**
	Ambiental (NA)	**Económico (NE)**	
	0,65	**0,35**	
EPS F	0,53	1,00	0,70
Vidro celular D	0,38	0,23	0,33
EPS G	0,05	0,20	0,10
Vidro celular B	0,98	0,26	0,73

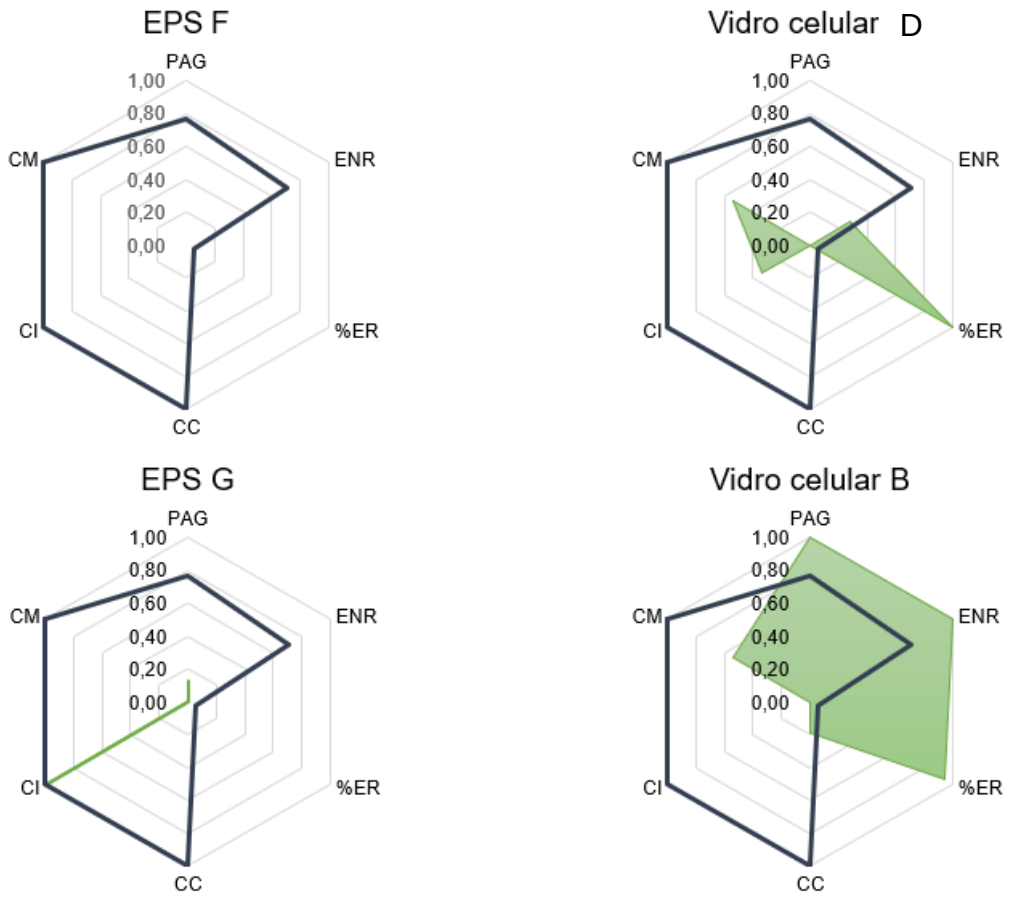


Figura 5.9 - Gráficos radar de todas as soluções para coberturas invertidas. A solução de referência (**EPS F**) encontra-se em linha e as restantes a preenchido.

Embora sendo de materiais diferentes, como o próprio nome indica, o **EPS F** e o **Vidro celular B** têm praticamente o mesmo nível de sustentabilidade. O **EPS F** porque o seu desempenho económico é muito bom, enquanto o **Vidro celular B** tem um desempenho ambiental irrepreensível nesta tipologia, dado as soluções apresentadas.

Posto isto, a quarta solução é a nossa melhor solução. E o equilíbrio de resultados obtidos fazem com que a solução de referência adotada fosse o **EPS F**.

A solução de **EPS G** demonstra ter um péssimo desempenho ambiental tendo apenas o valor de 1% de energia renovável total, ou seja, é um material que não potencializa a sustentabilidade.

6
CONCLUSÃO

6.1 CONCLUSÕES GERAIS

Apesar do setor da construção ainda ser uma área considerada insustentável a tendência é a melhorar. Com a promoção e desenvolvimentos de metodologias e ferramentas que avaliem a sustentabilidade dos materiais a propensão é haver, nos próximos anos, uma crescente melhoria na escolha e, consequentemente, utilização de materiais de isolamento térmico.

Na presente dissertação pretendia-se perceber que influência teriam estes materiais, consoante as suas características ambientais, funcionais e económicas, ao conferir-lhes um determinado tipo de utilização. Todavia, obter informações acerca destes parâmetros de sustentabilidade ainda é um gigante desafio. As plataformas existentes ainda não conseguem, na opinião da autora, dar resposta as necessidades da construção, no sentido de facultar aos utilizadores informações que lhes permitam analisar e, posteriormente, escolher isolamentos sustentáveis.

Conscientes, que o preço é ainda o fator que os demais utilizadores dão a maior relevância, o estudo apresentado revela que o XPS e o EPS são os materiais mais baratos, porém são os materiais que revelam o pior desempenho a nível ambiental. Contudo, as DAP analisadas foram, na sua grande maioria, destes dois materiais, ou seja, mesmo que se procure potencializar outro tipo de material, as informações são bastante escassas.

A classificação ISOLE foi preponderante para se excluir/escolher materiais e perceber que as características intrínsecas limitam a utilização dos isolamentos térmicos. Quanto mais baixos forem os valores do ISOLE, menos possíveis utilizações estes terão. Por outro lado, como a informação era nula, não se conseguiu aplicar certo tipo de materiais. Sem informação sobre esta classificação rejeitou-se, imediatamente, certos materiais. Por isso, nesta dissertação não se utilizou lãs de vidro, lã minerais ou lãs de rocha. Apesar de serem conhecidos como materiais renováveis não foram desenvolvidos estudos a nível de declarações ambientais.

De salientar o excelente nível de sustentabilidade dos vidros celulares, que apresentam não só valores ambientais muito satisfatórios como a nível funcional têm um ótimo desempenho, possuem a uma classe de reação ao fogo A1 e A2 e, na sua maioria, apenas são considerados fracos no parâmetro de estabilidade dimensional.

Deste modo, após aplicação de método MARS-SC conseguiu-se perceber que os tipos de uso mais exigentes como o ETICS e as coberturas planas, tradicionais e invertidas, acabam por ter na sua constituição isolamentos que não promovem uma construção sustentável.

A falta de materiais isolantes térmicos que possuam DAP, juntamente com a ausência da correspondente classificação ISOLE e informação técnica associada, prejudica a aplicação do método de avaliação de sustentabilidade pela reduzida quantidade de materiais devidamente

caracterizados de forma a que possam ser comparados escolhidos para os diversos tipos de utilização.

Para finalizar, espera-se que seja possível rentabilizar este estudo de modo a facilitar análises comparativas de isolamentos térmicos para potencializar soluções construtivas efetivamente mais sustentáveis.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O inconveniente desta metodologia é a escassa quantidade de informação disponível.

Segundo a autora, seria interessante a nível ambiental promover não só a utilização das DAP por parte do utilizador como por parte de empresas e entidades. Acrescentando, de forma quantitativa e qualitativa, informações numa plataforma geral, como a que encontramos na ACERMI mas numa vertente ambiental. Providenciando, assim, material concreto de estudo para recorrer a mais materiais isolantes, tendo uma visão mais abrangente do nível de sustentabilidade de isolamentos diferentes dos que foram, na presente dissertação, apresentados.

De um ponto de vista funcional, utilizar a classificação ISOLE é de facto uma mais valia, contudo as empresas não fornecem informação necessária quantitativa para este método específico, daí sugeria que nesta vertente existisse, à disposição dos leitores, informação mais pormenorizada por parte dos produtores do materiais de isolamento térmico bem como uma maior diversificação de materiais com esta classificação, aumentando assim o leque de materiais isolantes que podem ser comparados e analisados.

A vertente económica é um pouco ambígua. Se por um lado temos um custo de compra fácil de procurar e obter, com os custos de instalação e manutenção já não é bem assim. Uma vez que calcular o custo de instalação, utilizando diferentes materiais para um tipo de uso era, na maioria das vezes, bastante difícil de quantificar, seria necessário, para efeitos de estudo como o desenvolvido nesta dissertação, existir por parte das empresas, consoante o material possuir informação mais detalhada, por forma a conseguir distingui-los mais eficazmente.

Sintetizando, a aplicação deste método, consoante o estes três indicadores é bastante atual e útil, e tanto a nível académico como profissionalmente. E como quando se fala em sustentabilidade tem que se pensar, não só no amanhã, mas também num futuro longínquo, quanto mais informação houver e quanto mais pormenorizada esta se presentar melhor será o desempenho global do setor pois seremos capazes de adotar medidas melhor fundamentadas.

A nível académico, seria interessante prosseguir com a avaliação de sustentabilidade de materiais de isolamento térmico para os outros usos, como por exemplo para pavimento e paredes enterradas, como explorar a avaliação de materiais naturais e/ou inovadores, ainda não ou pouco utilizados, mas que podem vir a constituir ótimas alternativas aos materiais sintéticos de origem fóssil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. R. Carrilho Junior, "Desenvolvimento de uma Metodologia para Mineração de Textos," no. 1, p. 96, 2007.

[2] "RILEM - GLOBE - Global Consensus on Sustainability in the Built Environment." https://www.rilem.net/article/globe-global-consensus-on-sustainability-in-the-built-environment-192 (accessed Jul. 23, 2021).

[3] "Concrete Non-Destrutive.Pdf." .

[4] L. Bragança and R. Mateus, "2 . Metodologias de apoio , avaliação e reconhecimento da construção sustentável."

[5] "Software de avaliação do ciclo de vida de construção mais rápido do mundo - One Click LCA." https://www.oneclicklca.com/ (accessed Jul. 30, 2021).

[6] "EPD Library | EPD International." https://www.environdec.com/library (accessed Jul. 30, 2021).

[7] "Como funciona a certificação BREEAM | BREEAM." https://www.breeam.com/discover/how-breeam-certification-works/ (accessed Jul. 19, 2021).

[8] "LEED: O Que é e Como Funciona a Maior Certificação Para Edificações." https://www.ugreen.com.br/leed/ (accessed Jul. 19, 2021).

[9] "Leed for Cities: A marca da sustentabilidade para a escala urbana - Edificios e Energia." https://edificioseenergia.pt/noticias/leed-for-cities013/ (accessed Jul. 19, 2021).

[10] "Ferramentas de classificação | World Green Building Council." https://www.worldgbc.org/rating-tools (accessed Jul. 19, 2021).

[11] V. G. da Silva, "Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica," *Habitacção mais Sustentável*, p. 60, 2007.

[12] "LiderA – Sistema de avaliação da sustentabilidade." http://www.lidera.info/?p=MenuPage&MenuId=29 (accessed Jul. 29, 2021).

[13] "SBtool PT | PDF | Portugal | Sustentabilidade." https://pt.scribd.com/document/37694842/SBtool-PT (accessed Jul. 29, 2021).

[14] "Lã de rocha: um material com múltiplas qualidades | Eurocoustic." https://www.eurocoustic.pt/la-de-rocha-um-material-com-multiplas-qualidades (accessed Jul. 21, 2021).

[15] "Lã de Vidro ou Lã de Rocha – Entenda as diferenças e saiba qual a melhor para cada necessidade." https://www.isar.com.br/blog/isolamento-termico/la-de-vidro-ou-la-de-rocha-entenda-as-diferencas-e-saiba-qual-melhor-para-cada-necessidade/ (accessed Jul. 21, 2021).

[16] "Isolamento certificado - ACERMI." https://www.acermi.com/fr/isolants-certifies/ (accessed Jul. 27, 2021).

ANEXO

EXEMPLO DECLARAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTO

Paramètres décrivant les informations environnementales

Impacts environnementaux	Unité (par unité déclarée)	Etape de production A1-A3	Etape de fin de vie C2 (transport)	Etape de fin de vie C3 (traitement des déchets)	Etape de fin de vie C4 (élimination)
Potentiel de réchauffement global, GWP	kg de CO_2 éq.	3.74×10^{0}	1.92×10^{-3}	0.00	3.19×10^{-0}
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique, ODP	kg de CFC 11 éq.	1.43×10^{-8}	8.67×10^{-11}	0.00	2.66×10^{-9}
Potentiel d'acidification des sols et de l'eau, AP	kg de SO_2 éq.	1.20×10^{-2}	1.16×10^{-5}	0.00	2.85×10^{-4}
Potentiel d'eutrophisation, EP	kg de $(PO_4)^{3-}$ éq.	8.45×10^{-4}	2.75×10^{-6}	0.00	2.57×10^{-4}
Potentiel de création d'ozone photochimique, POCP	kg C_2H_4 éq.	9.60×10^{-3}	4.10×10^{-7}	0.00	4.90×10^{-6}
Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques non fossiles, ADP-éléments	kg de Sb éq.	1.77×10^{-6}	6.84×10^{-9}	0.00	3.50×10^{-8}
Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques fossiles, ADP-combustibles fossiles	MJ, PCI	8.28×10^{1}	2.86×10^{-2}	0.00	3.99×10^{-1}
Utilisation des ressources					
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières	MJ, PCI	4.98×10^{0}	4.42×10^{-4}	0.00	8.05×10^{-3}
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables, utilisées comme matières premières	MJ, PCI	6.10×10^{-3}	0.00	0.00	0.00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelable (énergie primaire et ressources d'énergies primaire utilisées comme matières premières)	MJ, PCI	4.99×10^{0}	4.42×10^{-4}	0.00	8.05×10^{-3}
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières	MJ, PCI	4.49×10^{1}	3.01×10^{-2}	0.00	4.22×10^{-1}
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelable, utilisées comme matières premières	MJ, PCI	4.16×10^{1}	0.00	0.00	0.00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelable (énergie primaire et ressources d'énergies primaire utilisées comme matières premières)	MJ, PCI	8.65×10^{1}	3.01×10^{-2}	0.00	4.22×10^{-1}
Utilisation de matière secondaire	kg	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	MJ, PCI	1.42×10^{-2}	0.00	0.00	0.00
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	MJ, PCI	3.08×10^{-1}	0.00	0.00	4.10×10^{1}
Utilisation nette d'eau douce	m^3	8.96×10^{-3}	1.22×10^{-6}	0.00	1.35×10^{-4}
Autres informations environnementales décrivant les différentes catégories de déchets					
Déchets dangereux éliminés	kg	7.90×10^{-6}	2.86×10^{-8}	0.00	1.07×10^{-6}
Déchets non dangereux éliminés	kg	9.44×10^{-2}	2.15×10^{-4}	0.00	5.40×10^{-2}
Déchets radioactifs éliminés	kg	1.03×10^{-5}	3.77×10^{-8}	0.00	5.66×10^{-7}
Autres informations environnementales décrivant les flux de matériaux sortants					
Composants destinés à la réutilisation	kg	0.00	0.00	0.00	0.00
Matériaux destinés au recyclage	kg	3.08×10^{-3}	0.00	0.00	0.00
Matériaux destinés à la récupération d'énergie	kg	9.13×10^{-3}	0.00	0.00	1.00×10^{0}
Energie fournie à l'extérieur, électricité	MJ	1.08×10^{-1}	0.00	0.00	1.37×10^{1}
Energie fournie à l'extérieur, chaleur	MJ	2.15×10^{-1}	0.00	0.00	2.73×10^{1}