



## Materiais de isolamento térmico de edifícios. Para além da energia operacional

Carlos Oliveira Augusto

University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Laboratory of Building Physics and Construction Technology, Guimarães, Portugal

[carlosoliveira.7@gmail.com](mailto:carlosoliveira.7@gmail.com)

Luís Bragança

University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal

[braganca@civil.uminho.pt](mailto:braganca@civil.uminho.pt)

Manuela Almeida

University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal

[malmeida@civil.uminho.pt](mailto:malmeida@civil.uminho.pt)

**ABSTRACT:** The use of thermal insulation materials for the achievement of energy efficient buildings intended, in most cases, the fulfilment of the required heating and cooling needs of the operational phase. The main goal of this paper is - by using exploratory methodology, namely literature review - identify more sustainable insulating materials and, concomitantly, exposing the paradoxical effect of other insulation materials with high Global Warming Potential (GWP) highlighting the role of the Life Cycle Assessment (LCA), Ecodesign and Environmental Product Declaration (EPD) tools for the framing, comparison and selection of materials. As a main conclusion, it is noticed the lack of environmental information from the producers which, together with acquisition prices that do not internalize Life Cycle Costs (LCC), has led to the use of insulation materials with high carbon footprint and to the "isolation paradox" as well.

**Keywords:** Life Cycle Assessment; Sustainability Assessment, Operational Energy; Insulation Materials; Paradox of Insulation.

**RESUMO:** A utilização de materiais de isolamento térmico para a obtenção de edifícios energeticamente eficientes visa, na generalidade dos casos, a satisfação das respetivas necessidades de aquecimento e arrefecimento da fase operacional. O objetivo principal deste trabalho é o de - mediante a utilização de metodologia exploratória, nomeadamente revisão bibliográfica - identificar materiais de isolamento mais sustentáveis e, concomitantemente, expor o efeito paradoxal de outros com elevado Potencial de Aquecimento Global (GWP), destacando o papel da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), do *Ecodesign* e da Declaração Ambiental de Produto (DAP) para a conceção, comparação e seleção de materiais. Como principal conclusão, salienta-se a ausência generalizada de informação ambiental por parte dos produtores o que, a par de preços de aquisição que não internalizam Custos de Ciclo de Vida (LCC), tem conduzido à utilização de materiais com elevada pegada de carbono e ao "paradoxo do isolamento".

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo De Vida; Avaliação da Sustentabilidade, Energia Operacional; Materiais de Isolamento; Paradoxo do Isolamento.

### 1 INTRODUÇÃO

Os materiais de isolamento térmico para aplicação em envolventes de edifícios são, atualmente, a solução mais utilizada para atingir valores de condutibilidade térmica adequados, compensando a baixa inércia térmica dos sistemas construtivos convencionais. Esses materiais, de diferentes tipos, densidades e espessuras, permitem que a envolvente, cobertura, fundações

e paredes enterradas sejam isoladas de modo a garantir a funcionalidade das instalações, o conforto térmico dos ocupantes e a redução das emissões de carbono.

Assume especial importância, a identificação do tipo de matérias-primas envolvidas (de origem mineral ou orgânica) e que irão dar lugar a produtos “sintéticos” ou “naturais”, em função do grau de transformação a que são sujeitas. No caso dos produtos naturais, a matéria-prima permanece essencialmente inalterada (Pfundstein 2008). A tabela 1 refere alguns dos produtos mais utilizados ou com mais notoriedade no mercado português:

Tabela 1: Classificação e características técnicas referentes a alguns materiais correntes de isolamento térmico (Adaptado de Pfunstein 2008)

Material de isolamento	Classificação	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade térmica [W/(mK)]
Lã de Vidro	Inorgânico-Sintético	13	0.036
Lã de Rocha	Inorgânico-Sintético	20-200	0.035-0.040
Argila Expandida (4/16)	Inorgânico-Natural	400	0.800-1.000
Poliestireno Expandido (EPS)	Orgânico-Sintético	30	0.035
Poliestireno Extrudido (XPS)	Orgânico-Sintético	37	0.032
Espuma Rígida de Poliuretano (PUR)	Orgânico-Sintético	40	0.030
Cortiça (placa rígida)	Orgânico-Natural	100-120	0.040
Fibra de Coco (placa)	Orgânico-Natural	70-90	0.045
Cânhamo (reforçado com poliéster)	Orgânico-Natural	30	0.045

Pode-se afirmar, de forma empírica, que um produto classificado de “orgânico-natural” possa gerar menor impacto ambiental do que os demais, e seja, portanto, mais adequado para utilização em projetos e obras de construção sustentável. Tal conclusão, carece, no entanto, da necessária validação através de ferramentas adequadas, nomeadamente, por via da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que permite a identificação dos impactos ambientais de um determinado material, produto ou sistema (MPS) ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a fase de conceção e projeto até à deposição ou reutilização (Crawford 2011).

A ACV viabiliza a utilização dessa informação para vários fins, designadamente, para a melhoria do desempenho ambiental de um MPS, e que pode ser caracterizado como o perfil dos potenciais efeitos sobre o Ambiente e a Saúde Humana tais como: Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential – GWP*), Destruição do Ozono Estratosférico, Acidificação do Solo e dos Recursos Hídricos, entre outros (Bragança & Mateus 2011).

A tabela 2 apresenta dados provenientes de ACV’S para os materiais de isolamento acima considerados, donde se destacam, em termos de contribuição para a pegada de carbono, os fatores de caracterização “Potencial de Aquecimento Global” (*Global Warming Potential - GWP*) e “Energia Primária não-renovável” (EPNR), relacionados com as Categorias de Impacte “Aquecimento Global” e “Depleção de Recursos”, respetivamente (Crawford 2011).

A informação atempada dos indicadores ambientais fornecidos por uma ACV é de extrema relevância para os *designers* e projetistas, que assim ficam na posse de elementos que lhes permitem desenvolver, ou prescrever, materiais de forma ambientalmente orientada (Jeswiet & Hauschild 2005). Este modo de conceção - ambientalmente orientada e tendo em vista a redução ou eliminação de alguns dos impactos originados ao longo do ciclo de vida - é designada de *Ecodesign* (Crawford 2011).

A concentração do protagonismo na eficiência energética operacional e nas energias renováveis relegaram, para plano secundário, a contribuição dos materiais para a sustentabilidade do edificado, em contexto de construção nova ou de reabilitação. Desse modo, os impactos associados às restantes fases do ciclo de vida podem fazer diminuir significativamente, ou até mesmo anular, o ativo ambiental alcançado durante a fase operacional (Ascenso 2013). Desse

modo, para a realização de um projeto ecoeficiente, deve-se dispor atempadamente de informação relevante acerca dos MPS a prescrever, obtida a partir de uma ACV. Tal é o caso da Declaração Ambiental de Produto (DAP) que divulga, resultados específicos relativos a um dado material ou produto, mas também, outros aspetos que geralmente não constam de uma ACV (dados técnicos ou informação relativa a substâncias especiais), com a finalidade de providenciar informação relevante, afim que o potencial prescritor ou cliente possa comparar produtos, comparando resultados quantificados (Oliveira Augusto 2012).

Tabela 2. Fatores de Caracterização de Impacte ambiental para alguns materiais correntes de isolamento térmico (Adaptado de Pfunstein 2008)

Material de Isolamento	Potencial de Aquecimento Global (kgCO <sub>2</sub> eq./kg)	Potencial Fotoquímico de Criação de Ozono (kgC <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /kg)	Potencial de Acidificação (kgSO <sub>2</sub> eq./kg)	Potencial de Eutrofização (kgPO <sub>4</sub> eq./kg)	Energia Primária, não-renovável (MJ/kg)
Lã de Vidro	2.81	0.00124	0.00603	0.00072	4.4
Lã de Rocha	1.16	0.00052	0.00750	0.00083	12.9
Argila Expandida	0.31	0.00016	0.00194	0.00009	4.4
EPS	2.76	0.00095	0.00590	0.00061	83.0
XPS (expansor HFC)	21.97	0.00278	0.02854	0.00181	110.2
PUR (Rígida)	13.7	0.00048	0.06680	0.00160	102.1
Cortiça (ICB)	- 1.46	0.0001	0.00290	0.00025	7.19
Coco (Placa)	0.56	0.00019	0.03630	0.00094	34.9
Cânhamo (Painel)	- 0.55	0.00087	0.00672	0.00077	14.9

O setor da Construção, em Portugal, ainda carece da necessária divulgação deste tipo de informação especializada, no entanto, prevê-se a curto prazo a obrigatoriedade de os fabricantes executarem - e comunicarem - as DAP's referentes aos seus produtos, o que contribuirá de modo substancial para a disseminação de uma prescrição de base científica e ambientalmente orientada, tornando mais exequível a quantificação do impacte ambiental de produtos complexos, como é o caso dos edifícios (Bragança & Mateus 2011).

Com o objetivo de avaliar a Sustentabilidade de materiais, ir-se-á proceder à aplicação da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) a quatro materiais de isolamento térmico, tidos como os mais adequados para aplicação em Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (*External Thermal Insulation Composite Systems* - ETICS), no contexto do mercado nacional.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Potencial de Aquecimento Global dos Isolamentos Térmicos

Um dos exemplos mais evidentes da ausência de informação ambientalmente relevante é o subsetor dos materiais de isolamento térmico, pela dificuldade que existe em identificar o respetivo valor intrínseco do Potencial de Aquecimento Global, uma das categorias de impacte com mais relevância nas Alterações Climáticas Antropogénicas (Bragança & Mateus 2011).

Há que sublinhar o facto de os próprios materiais de isolamento contribuírem, *per se*, para o fenómeno do aquecimento global, de dois modos: através da energia incorporada (resultante da extração, fabrico e transporte) e, no caso de algumas espumas, por via da utilização de agentes expansores químicos (*blowing agents*), com alto potencial de aquecimento global, tendo como finalidade a obtenção de minúsculas bolhas de ar (Wilson 2010) (tabela 3).

Inicialmente, as espumas de poliestireno extrudido (XPS) e de poliuretano (PU) de célula fechada utilizavam agentes expansores de clorofluorocarbonetos (CFC) que foram abolidos por danificarem a camada de ozono, tendo sido substituídos por hidroclorofluorocarbonetos (HCFC)

sem contributo significativo para a depleção da camada de ozono, mas, ainda, com elevado potencial de efeito de estufa. Por força do Protocolo de Montreal (UNEP 2012), os HCFCs foram, por sua vez, abolidos e substituídos pelos hidrofluorcarbonetos (HFC), a terceira geração de agentes expansores (Wilson 2010).

Tabela 3: Alguns materiais correntes de isolamento térmico no mercado global e respetivos agentes expansores (Adaptado de Wilson 2010)

Insulation Material	R - value (R/inch)	Density (lb/ft <sup>2</sup> )	Embodied Energy (MJ/kg)	Embodied Carbon (KgCO <sub>2</sub> /kg)	Blowing Agent (GWP)	Blowing Agent (Kg/Kg foam)
Cellulose (dense-pack)	3.7	3.0	2.1	0.106	None	0
Fiberglass batt	3.3	1.0	28	1.44	None	0
Rigid mineral wool	4.0	4.0	17	1.2	None	0
Polyisocyanurate (PIR)	6.0	1.5	72	3.0	Pentane (7)	0.05
SPF - closed cell (HFC-blown)	6.0	2.0	72	3.0	HFC.245fa (1030)	0.11
SPF - closed cell (water-blown)	5.0	2.0	72	3.0	Water (1)	0
SPF - open cell (water blown)	3.7	0.5	72	3.0	Water (1)	0
Expanded polystyrene (EPS)	3.9	1.0	89	2.5	Pentane (7)	0.06
Extruded polystyrene (EPS)	5.0	2.0	89	2.5	HFC.134a (1430)	0.08

A nível global, por razões técnicas e económicas, a indústria do XPS tende a utilizar como agente expansor o HFC-134a, com um GWP = 1430 (horizonte temporal de 100 anos, em conformidade com o 4º Relatório de Avaliação), ou seja, com um valor de mil quatrocentos e trinta vezes superior ao do CO<sub>2</sub> (GWP = 1) (figura 1).

Na Europa, contudo, existem várias empresas que adotaram voluntariamente hidrocarbonetos de baixo GWP, pelo que, facilmente se depreende a necessidade de dispor de uma ferramenta como a “Declaração Ambiental de Produto”, que permita comparar produtos tecnicamente “iguais”, mas com distinta pegada de carbono (EPA 2011).

A título ilustrativo é de referir que Wilson (2010) procedeu, para um edifício classificado como energeticamente eficiente, ao cálculo do *GWP payback* para vários tipos de isolamentos com, e sem, agentes expansores. O objetivo era o de calcular o período de retorno (em anos), após o qual se compensaria o efeito GWP devido à utilização de um determinado tipo de material.

Foram incluídos neste estudo, como representativos dos isolamentos espumados, o XPS (*Extruded Polystyrene Foam*) e o SPF (*Spray Polyurethane Foam*), ambos expandidos com HFCs e assumida uma perda (vazamento) dos agentes expansores de 50% ao longo da vida útil, considerada como sendo de 50 anos (fenómeno que, de modo geral, não é levado em consideração).

Os cálculos revelaram que, no caso dos isolamentos sem agentes expansivos – celulose, lã mineral, EPS - o período de retorno era relativamente curto (de 1 a 4 anos), no entanto, para os espumados, com destaque para o XPS elaborado com HFC-134a, o período de retorno para condições equivalentes e constantes era de 36 anos.

Porém, à medida que se incrementava o isolamento e, conseqüentemente, a Resistência Térmica da envolvente (*R-value*), permitindo poupar na energia de aquecimento e arrefecimento, o *GWP payback* aumentava para valores próximos, ou acima do tempo de vida

útil do edifício: no caso de se incrementar o isolamento XPS em 2'' (5,08 cm) ou 4'' (10,16 cm), o período de retorno passava a ser de 46 e de 65 anos, respectivamente (figura 2).

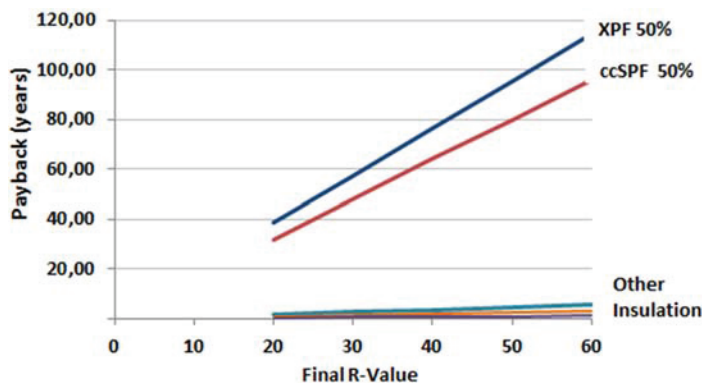


Figura 1: Estimativa do *GWP payback* (em anos) para materiais espumados XPS e SPF (Wilson 2010)

No pressuposto de um clima mais ameno (a zona geoclimática de referência deste estudo é a cidade de Boston, Estados Unidos da América), e de a perda dos agentes expansores ser superior aos 50% considerados, mantendo o isolamento constante, o período de retorno aumenta, pois as necessidades de aquecimento/arrefecimento são menores. No limite, se fosse assumida a hipótese de 100% de vazamento dos agentes expansores, o *GWP payback* duplicaria (Wilson 2010).

Estamos, portanto, em presença de um efeito paradoxal, em termos da pegada de carbono, que é precisamente o que a adoção de isolamento térmico em edifícios se propõe mitigar, por via da eficiência energética. Este efeito, designado de “Paradoxo do Isolamento”, pode ser revelado a partir de dados das ACV’s (tabela 2) ou das DAP’s, e minimizado por via da escolha de materiais de isolamento de baixo, ou muito baixo Potencial de Aquecimento Global. Em qualquer caso, as Declarações Ambientais de Produtos são ferramentas indispensáveis ao *ecodesign*, aplicadas tanto à conceção de materiais e produtos, como a projetos de Arquitetura e de Engenharia intrinsecamente sustentáveis.

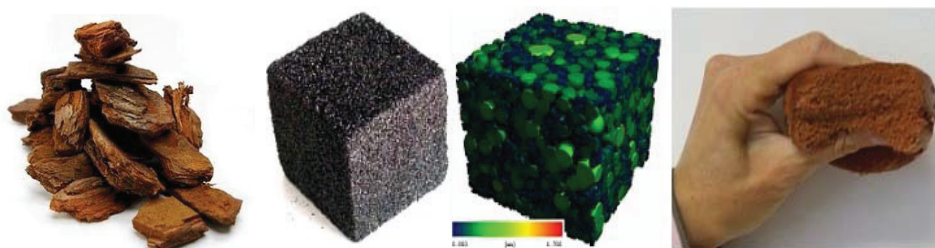


Figura 2: Espuma de isolamento térmico para a construção proveniente de casca de pinheiro (*biofoambark*)

Com o intuito de diminuir a poluição e o CO<sub>2</sub> associados a alguns materiais de isolamento térmico convencionais, têm vindo a ser desenvolvidos esforços no sentido de encontrar alternativas viáveis do ponto de vista económico, social e ambiental à matéria-prima fóssil, de que são exemplos o projeto *BioFoam Bark* - um consórcio europeu constituído com a finalidade de desenvolver uma espuma isolante de origem orgânica e natural para aplicação ao setor da construção, a partir do tanino extraído da casca de árvores (figura3) (Freiburg *et al.* 2014), e o *Mushroom Insulation*, um biomaterial de isolamento para construção e outros fins, obtido a partir de resíduos agrícolas e de micélio de cogumelo (Ecovative 2014).

## 2.2 Avaliação de Sustentabilidade de Materiais

Para efeitos de escolha do material mais adequado do ponto de vista da sustentabilidade, não é suficiente considerar, apenas, o respetivo preço de aquisição, que é o critério dominante na

prática. A partir da abordagem *Life-Cycle Thinking* é introduzido o conceito de Custos de Ciclo de Vida (*Life-Cycle Costs - LCC*), o qual inclui, para além dos habituais custos de produção, marketing e distribuição, também os custos operacionais, de manutenção e deposição. De facto, a adoção do paradigma do desenvolvimento sustentável pelas empresas implica, ao contrário da prática corrente, a internalização dos custos, de modo a que os aspetos ambientais e sociais estejam, também, refletidos no preço final (Buyle & Braet & Audenaert 2013).

Deste modo, a informação ambiental contida numa ACV (*Life-Cycle Assessment - LCA*) deve ser integrada com a de cariz económico (*cost-efficiency*) fornecida pela LCC, o que, em geral, não é feito. Com vista a obstar a esta dificuldade, o consórcio europeu CILECCTA (*Construction Industry Life Cycle Cost Analysis*), desenvolveu uma ferramenta de tomada de decisão que incorpora pensamento probabilístico, promovendo a combinação dos dois métodos e criando um novo termo: *Life Cycle Costing and Assessment (LCC+A)*, permitindo, em simultâneo, avaliar e eleger uma solução do ponto de vista económico e ambiental (CILECCTA 2013).

A figura 4 representa, como exemplo, um *output* gráfico simplificado, obtido a partir da ferramenta CILECCTA, do provável custo de ciclo de vida e do impacte associado em CO<sub>2</sub> equivalente para a unidade funcional de 1 m<sup>2</sup> de parede, realizada a partir de vários materiais alternativos entre si: tijolo (*brick*), bloco (*concrete block*), betão armado (*reinforced concrete*) e revestimento metálico (*steel cladding*).

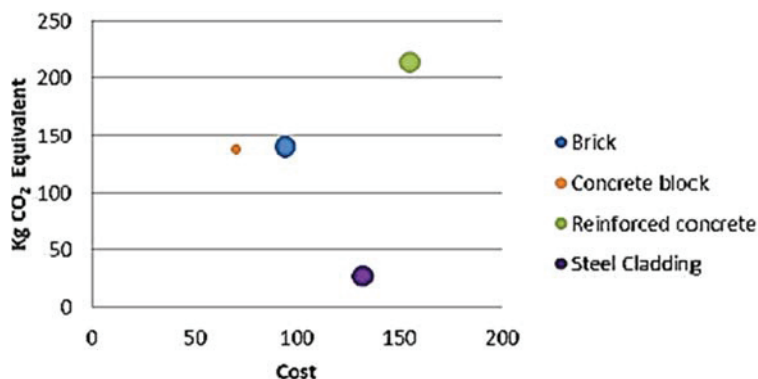


Figura 3. *Output* de resultados de LCC+A para 1m<sup>2</sup> de paredes de diferentes tipos (CILECCTA 2013)

Este método é aplicável ao setor da construção e constitui uma ferramenta que permite comparar, com relativa facilidade, custos e impactes ambientais para diferentes alternativas (CILECCTA 2013). Em todo o caso, há que ressaltar, que é crucial considerar o mesmo período para cada uma das alternativas, mesmo que estas apresentem uma vida útil diferente, para que se possam retirar conclusões válidas (Bragança & Mateus 2011).

A Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) é um método que avalia a sustentabilidade de materiais, produtos e sistemas (MPS) em relação à solução mais utilizada (corrente) num determinado contexto - local, regional ou nacional - e que é considerada como a “solução de referência” tendo como pano de fundo os três vetores característicos do paradigma do desenvolvimento sustentável: ambiente, sociedade e economia (Bragança & Mateus & Koukkari 2010).

Em Portugal, o sistema ETICS é um dos mais utilizados no isolamento de paredes pelo exterior, em obras novas e de reabilitação. Pode ser aplicado em paredes de alvenaria (tijolos, blocos de betão ou de betão celular autoclavado), de betão *in situ* ou pré-fabricadas (LNEC 2010).

Os isolamentos, sob a forma de placas rígidas, são fixados por colagem e/ou mecanicamente e possuem uma espessura variável, em função da resistência térmica (R) que se pretende obter, normalmente, de 40 a 60 mm de espessura, no caso português (figura 5). O tipo de isolamento mais utilizado é o EPS (poliestireno expandido), mas também o XPS (poliestireno extrudido) e o ICB (aglomerado de cortiça expandida) (LNEC 2010). De igual modo, utilizam-se com relativa

frequência painéis rígidos de lã de rocha (RW), quando se pretende a melhoria da *performance* acústica ao ruído aéreo exterior ou de resistência ao fogo, em conjunto com o desempenho térmico.

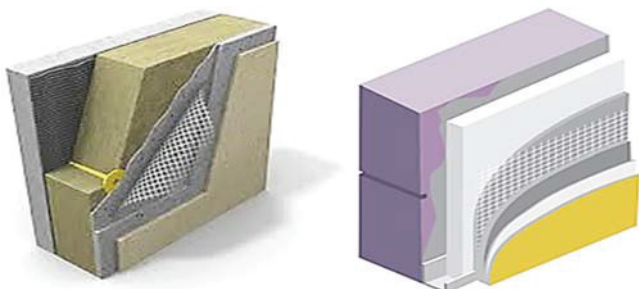


Figura 4: Fixação mecânica e por colagem em sistemas compostos ETICS

Pelo acima exposto, encontra-se a justificação de atribuir ao “isolamento EPS fixado por colagem” o atributo de solução de referência, em sentido estrito, uma vez que não cabe no âmbito deste trabalho analisar a solução na totalidade (do substrato ao revestimento).

De acordo com as fichas técnicas de vários fabricantes e preços médios de aquisição no mercado nacional, propomo-nos avaliar e comparar o grau de sustentabilidade dos materiais de isolamento térmico utilizado em 4 soluções - EPS, XPS, RW e ICB - em função de 5 parâmetros: 2 ambientais (Potencial de Aquecimento Global e Energia Primária não-renovável), 2 sociais (desempenho térmico e acústico) e 1 económico (preço de aquisição).

O Potencial de Aquecimento Global (GWP) está relacionado com a emissão de gases de estufa para a atmosfera para um horizonte temporal de 100 anos, em quilogramas (kg) equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por kg de emissão libertada para a atmosfera, enquanto a Energia Primária não-renovável (EPNR), incorporada, representa o consumo de energia não-renovável (petróleo, gás natural, carvão e nuclear) associado à fase específica do ciclo de vida do produto, neste caso, respeitante ao processo de produção (*cradle-to-gate*) (Bragança & Mateus 2011).

A contribuição do material de isolamento para o desempenho térmico do sistema é quantificado através do coeficiente de transmissão térmica U, referente a uma espessura nominal de 60 mm para os vários tipos de materiais envolvidos.

O desempenho acústico, tratando-se de materiais homogéneos, está fortemente correlacionado com a densidade do material - que é tida como um indicador *proxy* - e representado pela capacidade de isolamento ao ruído aéreo exterior, caracterizado pelo “índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado” (D<sub>2m,nT,w</sub>), tal como definido no Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE 2008).

O preço de aquisição (P) resulta de consultas a vários distribuidores de materiais de construção, é meramente indicativo, não inclui montagem nem trabalhos complementares e é exclusivamente válido para Portugal Continental. Como já comentado anteriormente, trata-se de uma simplificação centrada no aspeto económico e não internaliza demais custos ambientais e sociais.

A tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros, para cada um dos materiais selecionados, a fim de proceder à respetiva avaliação de sustentabilidade dos materiais. Os dados foram recolhidos a partir das tabelas 1 e 2, com exceção do preço médio de aquisição. O coeficiente de transmissão térmica (U) foi calculado a partir dos respetivos valores de condutividade térmica ( $\lambda$ ) dos materiais.

A metodologia MARS-SC permite comparar parâmetros de diferentes grandezas e escalas, procedendo a uma normalização através da fórmula de Diaz-Balteiro, tornando-os adimensionais e numa escala entre 0 (pior valor) e 1 (melhor valor). De seguida, procede à sua

agregação mediante a ponderação (importância) atribuída a cada um dos parâmetros, relativamente a cada um dos indicadores que refletem as três dimensões do Desenvolvimento Sustentável: ambiental, funcional (social) e económico (tabela 4). A ponderação dos parâmetros não é consensual, variando em função da metodologia utilizada ou de outros fatores, podendo, também por isso, acarretar um elevado grau de subjetividade.

Tabela 4. Quantificação dos parâmetros considerados para avaliação de sustentabilidade de materiais

Material de Isolamento	Potencial de Aquecimento Global (kgCO <sub>2</sub> eq./kg)	Energia Primária, Não-Renovável (MJ/kg)	Coefficiente de Transmissão Térmica (U) (W/m <sup>2</sup> °C)	Densidade (indicador proxy) (Kg/m <sup>3</sup> )	Preço de Aquisição (€/m <sup>2</sup> )
Lã de Rocha	1.16	12.9	0.63	150	11.28
EPS	2.76	83.0	0.63	30	3.98
XPS (HFC)	21.97	110.2	0.57	37	5.80
ICB	- 1.46	7.19	0.67	120	12.21

Ao nível dos três indicadores de sustentabilidade (*triple bottom line*), pode-se considerar a distribuição equitativa pelas três dimensões (33%). Contudo, a MARS-SC adota, por defeito, uma distribuição que realça a importância das dimensões ambiental (40%) e social (40%), em detrimento da económica (20%) com vista a salientar estes dois aspetos que, no atual paradigma de desenvolvimento, não têm sido prioritários (Bragança & Mateus & Koukkari 2010). O peso dos parâmetros pode ser ajustado a cada caso ou objetivo particular, desde que devidamente justificado (tabela 4).

Tabela 5. Nota Sustentável e Classificação do Desempenho

Indicador	Ambiental		Funcional		Económico	Nota Sustentável (NS)	Classificação do Desempenho
Peso (%)	GWP	EPNR	U	Dens.	P		
Parâmetros	GWP	EPNR	U	Dens.	P		
Peso (%)	0,75	0,25	0,60	0,40	1,00		
Lã de Rocha	0,67	0,24	0,24	0,40	0,10	0,64	Superior
EPS	0,61	0,07	0,24	0,00	1,00	0,57	Referência
XPS (HFC)	0,00	0,00	0,60	0,02	0,78	0,41	Inferior
ICB	0,75	0,25	0,00	0,30	0,00	0,52	Inferior

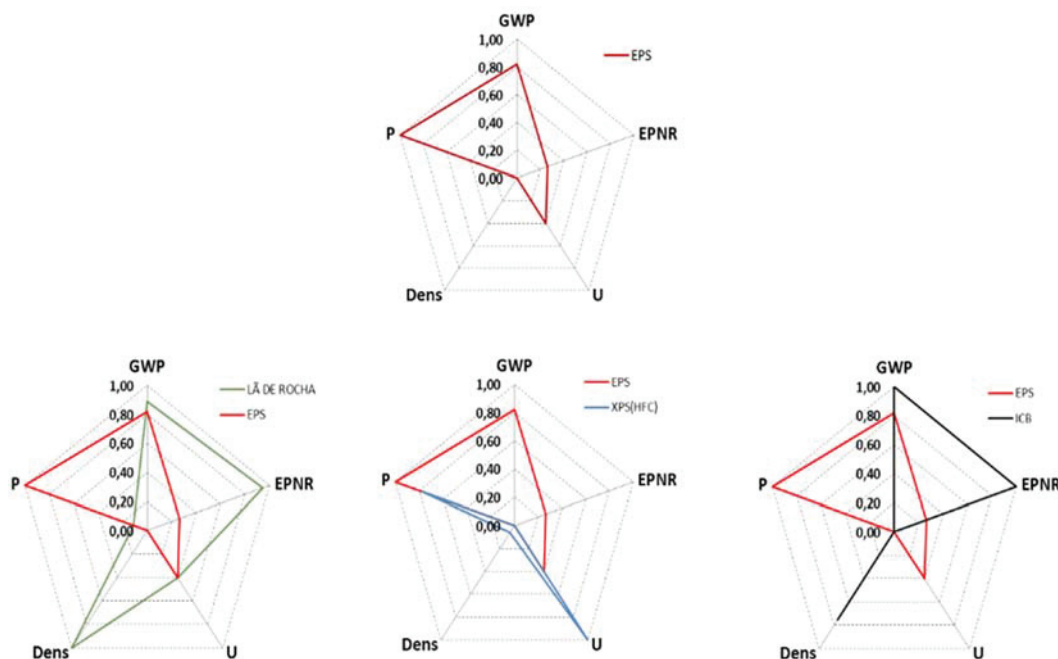


Figura 6: Perfil sustentável dos materiais de isolamento térmico analisados tendo como referência o EPS



De modo a identificar visualmente as diferenças que ao nível do desempenho existem entre os vários materiais, representa-se por intermédio de um diagrama de Amoeba (radar), os valores normalizados dos parâmetros. O gráfico terá tantos raios quantos os parâmetros em causa (neste caso cinco) e, quanto mais perto do centro, menos sustentável. A figura 6 ilustra o “perfil sustentável” do material de referência e os dos restantes, comparativamente.

### 3 CONCLUSÕES

Os materiais de isolamento térmico são imprescindíveis para a obtenção dos requisitos de eficiência energética consignados na Diretiva Europeia EPDB (recast) e para a conceção de edifícios de alto desempenho energético como *Passivhaus* ou *Near Zero Energy Buildings* (NZEB). Contudo, a perspetiva dominante centra-se no saldo energético operacional, relegando para segundo plano a energia incorporada e a respetiva pegada de carbono respeitantes às outras fases do ciclo de vida dos edifícios e dos materiais.

A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) permite identificar os impactes dos materiais envolvidos, nomeadamente os potenciais efeitos sobre o Ambiente e a Saúde Humana que devem ser considerados pelos *stakeholders* (fabricantes, projetistas, construtores e utentes).

A conceção de produtos ambientalmente orientada designa-se de *ecodesign*, e para que esta seja efetiva, a informação relevante obtida a partir de ACVs ou de Declarações Ambientais de Produto, deverá estar disponível desde o início do processo.

Em Portugal, existe uma carência de informação ambiental de modo a poder conceber materiais, produtos ou serviços baseados em *ecodesign*. No entanto, prevê-se a prazo, a obrigatoriedade de os fabricantes realizarem, e comunicarem, as DAPs dos seus produtos, o que irá contribuir para a tomada de decisão mais consciente por parte dos promotores, projetistas e construtores.

O caso dos materiais de isolamento térmico para a construção são um exemplo paradigmático: devido à falta generalizada de informação ambiental certificada, não é possível comparar materiais de diferentes fabricantes e tipologias, possibilitando que isolamentos de elevado Potencial de Aquecimento Global (e.g. XPS) sejam utilizados massivamente com a finalidade de obter eficiência energética operacional em edifícios, levando a que o período de retorno do carbono (*GWP payback*) fique inviabilizado em tempo útil, naquilo que se pode designar como o “Paradoxo do Isolamento”, em que “quanto mais (isolamento), pior”.

Tem vindo a ser realizada Investigação no sentido de desenvolver produtos alternativos à matéria-prima fóssil, viáveis do ponto de vista ambiental, social e económico, baseados em biomateriais. Porém, a abordagem económica feita exclusivamente a partir do preço de aquisição de um produto ou serviço, não reflete e distorce a realidade, pelo que, se deverá passar a internalizar os Custos de Ciclo de Vida: operacionais, de manutenção, deposição, valor residual, ambientais e sociais.

De modo a ser eficaz, a informação contida numa LCA (Avaliação de Ciclo de Vida) deve ser conjugada com a LCC (Custos de Ciclo de Vida), o que geralmente não acontece. Para colmatar essa falha, foi desenvolvida uma ferramenta de tomada de decisão que integra os dois métodos e cria um novo conceito: *Life Cycle Costing and Assessment* (LCC+A), que permite avaliar em simultâneo, uma alternativa do ponto de vista ambiental e económico.

A aplicação da Metodologia de Avaliação de Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) aos quatro tipos de materiais de isolamento térmico acima expostos, possibilita a atribuição de uma métrica (nota sustentável) que justifica uma seriação - do mais para o menos sustentável - relativamente à solução de referência preconizada.

No entanto, para a sua correta aplicação, torna-se necessário utilizar a informação proveniente de LCA e de LCC, para além da devida ponderação dos parâmetros, de modo a não enviesar os resultados. Verifica-se, neste caso – e é do conhecimento geral - que o parâmetro “Preço de

Aquisição” (P) penaliza as soluções com menor “Potencial de Aquecimento Global” (GWP), o que é paradoxal. Assim, propõe-se uma ponderação que estimule e reforce a componente ambiental em detrimento da económica, ou, em alternativa, a disseminação e aplicação dos princípios e técnicas de LCC.

## REFERÊNCIAS

- Ascenso, R. 2013. Pensar Sustentável! *Edifícios e Energia* 85: 8-15.
- Bragança, L. & Mateus, R. 2011. Avaliação do ciclo de vida dos edifícios – impacte ambiental de soluções construtivas. Guimarães: Autor.
- Bragança, L. & Mateus, R. & Koukkari, H. 2010. Building Sustainability Assessment. *Sustainability* 2: 2010-2023.
- Buyle, M. & Braet, J. & Audenaert, A. 2013. Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 379-388.
- CILECCTA. 2013. Sustainability within the Construction Sector: CILECCTA - Life Cycle Costing and Assessment. Oslo: SINTEF Building and Infrastructure.
- Crawford, R. 2011. Life Cycle Assessment in the Built Environment. Oxon: Spon Press.
- Ecovative. 2014. Ecovatedesign. Building Insulation [em linha]. [referência de 10 de Setembro de 2014]. Disponível na internet em: <http://www.ecovatedesign.com/products-and-applications/insulation>
- Environmental Protection Agency (EPA), U.S. 2011. Transitioning to low-GWP alternatives in building /construction foams [em linha]. [referência de 9 de Setembro de 2014]. Disponível na internet em: [http://www.epa.gov/ozone/downloads/EPA\\_HFC\\_ConstFoam.pdf](http://www.epa.gov/ozone/downloads/EPA_HFC_ConstFoam.pdf)
- Freiburg, University. 2014. BioFoamBark [em linha]. [referência de 10 de Setembro de 2014]. Disponível na internet em: <https://www.biofoambark.uni-freiburg.de/News/Biofoambark>
- Jeswiet, J. & Hauschild, M. 2005. EcoDesign and future environmental impacts. *Materials and Design*. 26:629-634
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2010. Regras para a concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) ou de um Documento de Homologação (DH) a Sistemas Compósitos de Isolamento pelo Exterior (ETICS). Lisboa: Departamento de Edifícios - Núcleo de Revestimentos e Isolamentos.
- Oliveira Augusto, C. 2012. A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida na definição de critérios de sustentabilidade em edifícios. Lisboa: Universidade Lusíada Editora.
- Pfundstein, M *et al.* 2008. Insulating Materials. Munich: Detail Practice.
- RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. 2008. Decreto-lei nº96/2008 de 9 de Junho. *Diário da República, 1ª Série - Nº110*. Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- UNEP - United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat. 2012. Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Ninth Edition. Nairobi: UNON
- Wilson. A. 2010. Avoiding the Global Warming Impact of Insulation. *Environmental Building News* 19(6): 8-14.