

MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS. PARA ALÉM DA ENERGIA OPERACIONAL.

BUILDING INSULATION MATERIALS: BEYOND OPERATIONAL ENERGY.

CARLOS OLIVEIRA AUGUSTO

Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento
de Engenharia Civil, Laboratório de Física e Tecnologia das
Construções, Guimarães, Portugal.
carlosoliveira.7@gmail.com

LUÍS BRAGANÇA

Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de
Engenharia Civil, Guimarães, Portugal.
braganca@civil.uminho.pt

MANUELA ALMEIDA

Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de
Engenharia Civil, Guimarães, Portugal.
malmeida@civil.uminho.pt

RESUMEN

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".

Palabras clave

avaliação do ciclo de vida, avaliação da sustentabilidade, energia operacional, materiais de isolamento, paradoxo do isolamento.

ABSTRACT

The use of thermal insulation materials to achieve energy efficient buildings is intended in most cases to meet the heating and cooling needs of the operational phase. By means of an exploratory methodology, namely literature review, this paper aims to identify more sustainable insulation materials and concomitantly present the paradoxical effect of other insulation materials with high Global Warming Potential (GWP). The role of Life Cycle Assessment (LCA), Ecodesign and Environmental Product Declaration (EPD) tools is highlighted for the design, comparison and selection of materials. As a main conclusion, the general lack of environmental information from producers, together with prices that do not internalize Life Cycle Costs (LCC), have led to the use of insulation materials with a high carbon footprint and the "insulation paradox".

Keywords

life cycle assessment, sustainability assessment, operational energy, insulation materials, insulation paradox.

Tabela 1. Classificação e características técnicas referentes a alguns materiais correntes de isolamento térmico. Fonte: Adaptado de Pfunstein, 2008.

| Material de isolamento | Classificação | Densidade (kg/m ³) | 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 |

Tabela 2. Fatores de caracterização de impacto ambiental para alguns materiais correntes de isolamento térmico. Fonte: Adaptado de Pfunstein, 2008.

| Material de isolamento | Potencial de aquecimento global (kgCO ₂ eq./kg) | Potencial fotoquímico de criação de ozono (kgC ₂ H ₂ /kg) | Potencial de acidificação (kgSO ₂ eq./kg) | Potencial de eutrofização (kgPO ₄ 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 (com 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 |

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 et al, 2008). A Tabela 1 refere alguns dos produtos mais utilizados ou com mais notoriedade no mercado português.

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 e Mateus, 2011).

Tabela 3. Alguns materiais correntes de isolamento térmico e respetivos agentes expansores. Fonte: Adaptado de Wilson, 2010.

| Insulation Material | R - value | | | Embodied carbon (KgCO ₂ /kg) | Blowing agent (GWP) | Blowing agent (Kg/Kg foam) |
|---------------------------------|-----------|----------------------|---------|---|---------------------|----------------------------|
| | (R/inch) | (b/ft ²) | (MJ/kg) | | | |
| 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 (XPS) | 5.0 | 2.0 | 89 | 2.5 | HFC.134a (1430) | 0.08 |

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 GWP e "Energia Primária não-renovável" (EPNR), relacionados com as Categorias de Impacto, "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 e Hauschild, 2005). Este modo de conceção - ambientalmente orientada e tendo em vista a redução ou eliminação de alguns dos impactes 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 impactes 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 aspectos que geralmente não constam de uma ACV (dados técnicos ou informação relativa as substâncias especiais), com a finalidade de providenciar informação relevante, afim que o potencial prescritor ou cliente possa comparar produtos, comparando resultados quantificados (Oliveira Augusto, 2011).

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 dos 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 e 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.

METODOLOGIA

POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS

Um dos exemplos mais evidentes da ausência de informação ambientalmente relevante é o subsector 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 e Mateus, 2011).

Há que sublinhar o facto dos próprios materiais de isolamento contribuírem, *per se*, para o fenómeno do aquecimento global, de dois modos: através da energia

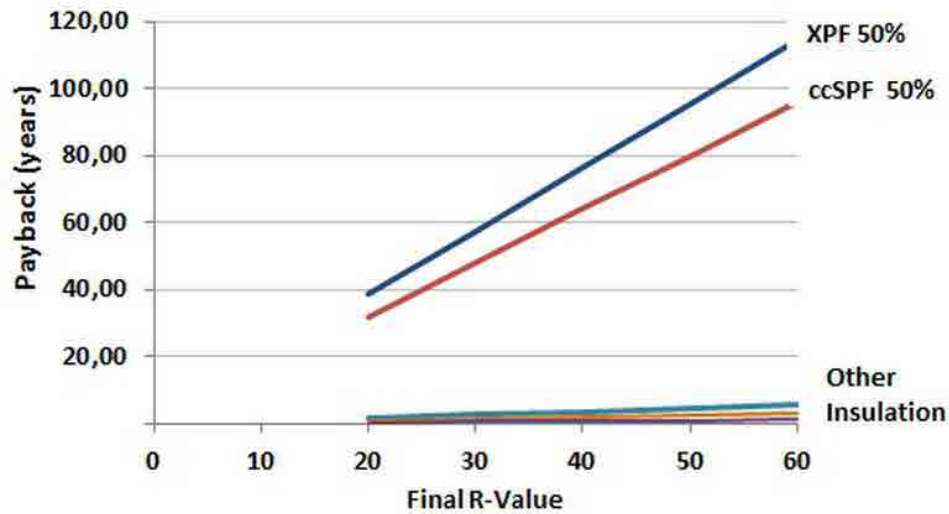


Figura 1. Estimativa do GWP paybak (em anos) para materiais espumados XPS e SPF. Fonte: Wilson, 2010: 11.

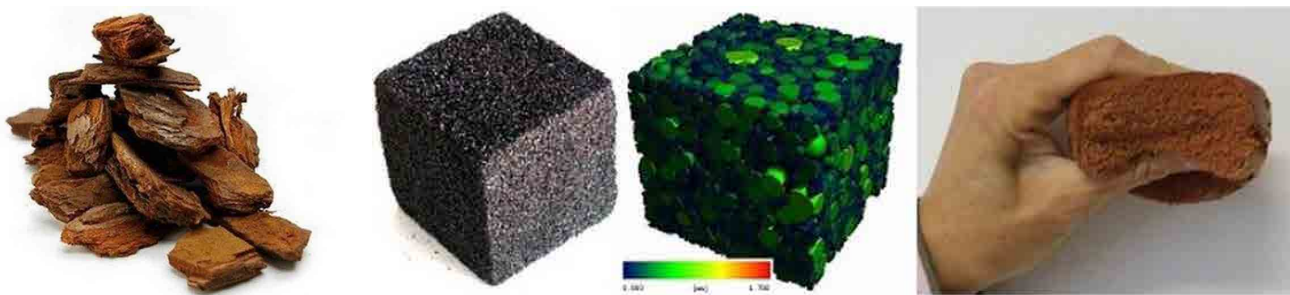


Figura 2. Espuma de isolamento térmico para a construção proveniente de casca de pinheiro. Fonte: www.research-in-germany.org, 2015; www.haute.innovation.com, 2015.

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 (United Nations Environment Programme, 2012), os HCFCs foram, por sua vez, abolidos e substituídos pelos hidrofluorcarbonetos (HFC), a terceira geração de agentes expansores (Wilson, 2010).

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 CO₂ (GWP = 1) (Tabela 3).

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 (United States Environmental Protection Agency, 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 1).

No pressuposto de um clima mais ameno (a zona geoclimática de referência deste estudo é a cidade de Boston, Estados Unidos da América), e da 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.

Com o intuito de diminuir a poluição e o CO₂ 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 (Figura 2) (Biofoambark, 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).

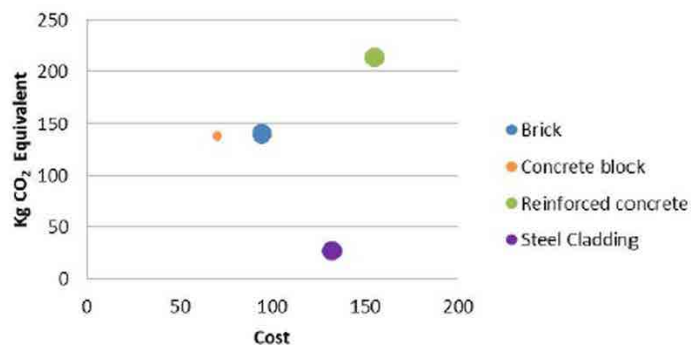


Figura 3. Resultados de LCC+A para 1m² de parede de diferentes tipos. Fonte: CILECCTA, 2013: 22.

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 e 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 3 representa, graficamente, um exemplo simplificado, obtido a partir do CILECCTA, do provável custo de ciclo de vida e do impacto associado em CO₂ equivalente para a unidade funcional de 1 m² de parede, realizada a partir de vários materiais alternativos: tijolo (*brick*), bloco (*concrete block*), betão armado (*reinforced concrete*) e revestimento metálico (*steel cladding*).

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

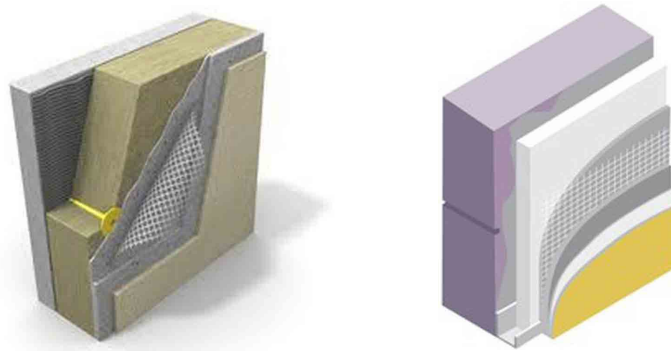


Figura 4. Fixação mecânica e por colagem em sistemas compósitos. Fonte: www.conars.1s.lv/41-fasades-siltinasana, 2015; Apfact (www.apfac.pt), 2015.

(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 e 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 e 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 (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 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 4). O tipo de isolamento mais utilizado é o EPS mas também o XPS 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.

RESULTADOS

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 (CO₂) 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 e 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_{2m,nT,w}), tal como definido no Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 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.

Tabela 4. Quantificação dos parâmetros considerados para avaliação de sustentabilidade de materiais.
 Fonte: Oliveira Augusto, Bragança e Almeida, 2015.

| Material de isolamento | Potencial de aquecimento global | Energia primária, Não-Renovável | Coefficiente de transmissão térmica (U) | Densidade (indicador proxy) de aquisição | Preço |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|--|---------------------|
| | (kgCO ₂ eq./kg) | (MJ/kg) | (W/m ² ·°C) | (Kg/m ³) | (€/m ²) |
| 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 |

Tabela 5. Nota sustentável e classificação do desempenho. Fonte: Oliveira Augusto, Bragança e Almeida, 2015.

| Indicador | Ambiental | | Funcional | | Económico | Nota sustentável (NS) | Classificação do desempenho |
|-------------|-----------|------|-----------|-------|-----------|-----------------------|-----------------------------|
| Peso (%) | 0,40 | | 0,40 | | 0,20 | | |
| 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 |

A Tabela 4 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 (λ) dos materiais.

A metodologia MARS-SC permite comparar parâmetros de diferentes grandezas e escalas, procedendo a uma normalização através da fórmula de Diaz-Balteiro (Bragança, Mateus e Koukkari, 2010), 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 5). 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.

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 e Koukkari, 2010). O peso dos parâmetros pode ser ajustado a cada caso ou objetivo particular, desde que devidamente justificado (Tabela 5).

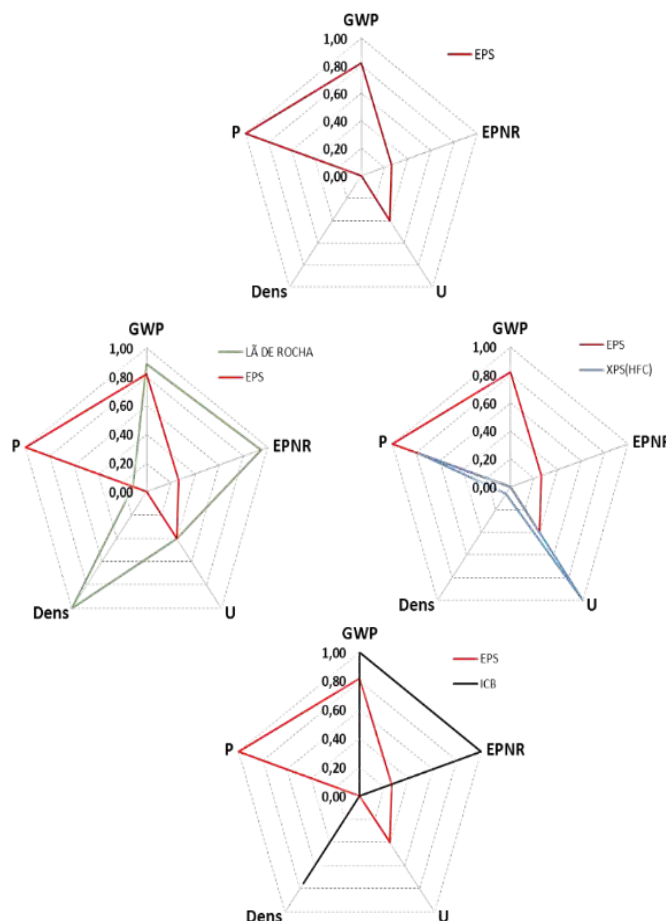


Figura 5. Perfil sustentável dos materiais de isolamento térmico analisados tendo como referência o EPS.
 Fonte: Oliveira Augusto, Bragança e Almeida, 2015.

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 5 ilustra o “perfil sustentável” do material de referência e os dos restantes, comparativamente.

Como se pode verificar pela análise da Tabela 5, apenas uma solução (Lã de rocha) tem uma “Nota Sustentável” superior à da solução de referência (EPS), tendo em conta a ponderação definida para os três indicadores e para os sete parâmetros considerados.

Para esse resultado, contribuiu decisivamente o fato deste material ter, em comparação, uma reduzida contribuição para o aquecimento global (GWP), bem como assumir, em simultâneo, um bom comportamento térmico (U) e acústico (Dens.), apesar do fator preço (P).

No extremo oposto encontra-se a solução à base de XPS (HFC) fortemente penalizada pela sua origem fóssil (GWP) e processo de fabrico (EPNR), para além da reduzida capacidade de isolamento acústico (Dens.) O preço (P) e a térmica (U) são os aspetos mais positivos deste material.

Os painéis rígidos de ICB apesar de serem os mais pontuados nos parâmetros ambientais GWP e EPNR perdem competitividade devido ao preço (P) e à correlação positiva que existe entre este e a espessura com vista à obtenção de isolamento térmico (U). O desempenho acústico é também um aspeto a salientar, sempre que se trate de um requisito funcional a preencher.

A solução de referência EPS tem o seu expoente no preço (P), que é o mais competitivo de todas as soluções analisadas, mas também assume o valor mais baixo para o desempenho acústico (Dens.) em virtude da sua reduzida densidade. No entanto, o bom comportamento térmico (U) aliado ao fato de ser um material que não utiliza - ao contrário dos poliestirenos extrudidos - agentes expansores, fortemente penalizantes em termos ambientais, permite-lhe equilibrar os aspetos mais desfavoráveis.

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 impactos 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, Rita. Pensar Sustentável! *Edifícios e Energia*, 2013, n.º 85, pp. 8-15.

BRAGANÇA, Luís e MATEUS, Ricardo. *Avaliação do ciclo de vida dos edifícios - impacte ambiental de soluções construtivas*. Guimarães: Ed. Autor, 2011.

BRAGANÇA, Luís; MATEUS, Ricardo e KOUKKARI, Heli. Building Sustainability Assessment. *Sustainability*, 2010, n.º 2, pp. 2010-2023.

BUYLE, Mattias, BRAET, Johan e AUDENAERT, Amaryllis. Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, n.º 26, pp. 379-388.

CILECCTA. *Sustainability within the Construction Sector: CILECCTA - Life Cycle Costing and Assessment*. Oslo: SINTEF Building and Infrastructure, 2013.

CRAWFORD, Robert. *Life Cycle Assessment in the Built Environment*. Oxon: Spon Press, 2011.

ECOVATIVE. *Ecovativedesign. Building Insulation* [em linha]. [Consultado 10 setembro 2014]. Disponível na: <http://www.ecovativedesign.com/products-and-applications/insulation>

JESWIET, Jack e HAUSCHILD, Michael. EcoDesign and future environmental impacts. *Materials and Design*, 2005, n.º 26, pp. 629-634.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - LNEC. *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, 2010.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MAOTDR. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*. 2008. *Decreto-lei n.º96/2008 de 9 de Junho*. Lisboa: Diário da República, 1ª Série, 2008.

OLIVEIRA AUGUSTO, Carlos. *A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida na definição de critérios de sustentabilidade em edifícios*. Lisboa: Universidade Lusíada Editora, 2011.

PFUNDSTEIN, Margit; GELLERT, Roland; SPITZNER, Martin H. e RUDOLPHI, Alexander. *Insulating Materials*. Munich: Detail Practice, 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. Ozone Secretariat. *Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. 9ª ed. Nairobi: UNON, 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Transitioning to low-GWP alternatives in building / construction foams* [em linha]. [Consultado 9 setembro 2014]. Disponível na: http://www.epa.gov/ozone/downloads/EPA_HFC_ConstFoam.pdf

WILSON, Alex. Avoiding the Global Warming Impact of Insulation. *Environmental Building News*, 2010, vol. 19, n.º 6, pp. 58-67.