

I CONGRESSO LUSO-AFRICANO DE
Construção Metálica
Sustentável

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE CONSTRUÇÕES METÁLICAS

Luís BRAGANÇA^a, Ricardo MATEUS^a

^a *Universidade do Minho*

* Autor para contacto. Tel.: +351 253 510 200; Fax+351 253 510 217; E-mail: braganca@civil.uminho.pt

Resumo. A análise do ciclo de vida (LCA) não é uma metodologia correntemente utilizada no projeto dos edifícios e a maior parte das avaliações e certificações da sustentabilidade dos edifícios não utilizam como base consistente os princípios LCA. As razões para esta realidade estão relacionadas com a enorme variedade e quantidade de fluxos de materiais e processos de ciclo de vida dos edifícios e com a complexidade das fases do LCA. Este artigo apresenta as dificuldades e as possíveis soluções para integrar métodos mais precisos de avaliação ambiental durante a fase de projeto de um edifício de construção metálica.

1. Introdução

Nos dias de hoje, a sociedade encontra-se bastante preocupada com a sustentabilidade e com os problemas ambientais. Esta preocupação pode contribuir para a criação de uma nova atitude quotidiana, ambientalmente consciente no que diz respeito à utilização de bens e serviços. Por outro lado, uma fraca consciência ambiental contribuirá para o crescimento de problemas ambientais e, portanto, para uma qualidade de vida inferior.

Atualmente, o número de construções em aço é extremamente elevado, visto que o aço é o material de construção que apresenta maior resistência e flexibilidade para responder aos desafios mais difíceis da construção. A nível mundial, a utilização do aço regista-se em maior número na parte estrutural dos edifícios e em obras de arte. As suas excelentes características tornam possível a execução de ambiciosos projetos de engenharia, tornando-se assim num interessante material para os engenheiros e arquitectos.

Com a evolução da construção e do conceito “edifício sustentável”, foram emergindo no mercado novos materiais e produtos de construção. Alguns deles sustentam rótulos que alegam que os mesmos apresentam menores impactos ambientais do que os materiais e produtos de construção convencionalmente utilizados. No entanto, não é claro que os designados “materiais sustentáveis” são de facto mais sustentáveis, quando utilizados em edifícios onde seja necessário realizar as mesmas funções que os convencionais. Assim, a necessidade de analisar à partida o ciclo de vida desses materiais é crucial para a avaliação da sustentabilidade, independentemente dos materiais de construção utilizados.

A avaliação da sustentabilidade na construção e as ferramentas de certificação baseiam-se na forma como as construções são projetadas, construídas, adquiridas, utilizadas, mantidas, reparadas, reabilitadas e, finalmente, desmontadas e demolidas ou reutilizadas e recicladas.

A avaliação da sustentabilidade e os sistemas de certificação destinam-se à promoção, conceção, construção, operação, manutenção e montagem/desmontagem de edifícios sustentáveis fomentando e possibilitando uma maior integração entre as questões ambientais, as sociais, funcionais e económicas e outros critérios de decisão tradicionalistas. O uso de materiais e tecnologias de construção acertados pode contribuir consideravelmente para melhorar o desempenho ambiental de ciclo de vida ambiental e, por conseguinte, melhorar a sustentabilidade das construções. É largamente reconhecido na área da avaliação da sustentabilidade dos edifícios que a Análise do Ciclo de Vida (LCA) constitui um método preferível para a avaliação de impactes ambientais derivados da produção de produtos e materiais de construção e da construção e utilização dos edifícios.

É largamente reconhecido no domínio da Avaliação de Sustentabilidade que a análise do ciclo de vida (LCA) é conceptualmente preferível para determinar os efeitos ambientais. No entanto, a maior parte das abordagens desenvolvidas até agora, assenta nas propriedades ou atributos singulares dos materiais, tais como [1]: o conteúdo reciclado; o potencial de reciclagem; o potencial de reutilização; ou as distâncias percorridas a partir do local de fabrico. A avaliação do ciclo de vida é internacionalmente reconhecida como uma abordagem útil para a avaliação de impactes ambientais de produtos ou processos durante todo o seu ciclo de vida. Esta abordagem é essencialmente quantitativa e tem em consideração os fluxos de materiais e de energia. A metodologia tem vindo a ser desenvolvida e utilizada ao longo dos anos mas, só na segunda metade dos anos 90 passou a ser normalizada pela Organização Internacional de Normalização (ISO14040-42). O LCA adapta-se melhor à escala da avaliação do produto ou material, mas é geralmente aceite a sua utilização ao nível dos produtos de construção e também do próprio edificado. O desempenho ambiental é geralmente mensurado através da grande variedade de potenciais efeitos, tais como: i) o potencial de aquecimento global; ii) destruição do ozono estratosférico; iii) formação de ozono troposférico (smog); iv) acidificação da água e do solo; v) eutrofização dos lençóis de água; vi) esgotamento de combustíveis fósseis; vii) consumo da água; viii) emissões tóxicas para o ar, terra e água; ix) esgotamento de recursos energéticos.

Todos os aspetos e categorias de impacte ambiental acima mencionados são indicadores das cargas ambientais que podem ocorrer desde a produção até à eliminação de um produto.

No entanto, estes indicadores não abordam diretamente os efeitos finais nos ecossistemas e na saúde humana, uma tarefa difícil e incerta. No entanto, disponibilizam uma importante informação acerca do desempenho ambiental. Na Tabela 1 encontra-se representado um resumo acerca dos efeitos sobre a saúde humana associados aos compostos químicos utilizados em alguns dos produtos de construção. A redução de qualquer um desses efeitos resultará num melhor desempenho ambiental e numa melhor qualidade de vida. O resultado de uma Avaliação do Ciclo de Vida depende sobretudo das categorias ambientais que são consideradas na avaliação.

A adoção da análise ambiental de ciclo de vida em edifícios e noutras obras de construção constitui uma tarefa complexa e morosa, uma vez que uma construção incorpora centenas (ou até milhares) de produtos individuais no mesmo projeto e envolve uma série de empresas e de intervenientes. Adicionalmente, o ciclo de vida esperado para um edifício é excepcionalmente longo, quando comparado com outro produto, correspondendo a dezenas ou a centenas de anos. Por esta razão, as ferramentas de LCA atualmente disponíveis não são utilizadas pela maioria dos decisores do setor da construção, incluindo os que concebem, os que constroem, os que compram ou os que utilizam um edifício. Devido à sua complexidade, a maior parte das ferramentas são utilizadas e desenvolvidas apenas por especialistas, e na maioria das vezes a nível da investigação.

De forma a ultrapassar esta situação e para promover a sua utilização na prática, os sistemas de certificação mais conhecidos simplificaram a análise LCA. Os métodos simplificados

de LCA que se encontram atualmente integrados nos sistemas de certificação não são abrangentes e consistentes em relação ao método LCA, mas apresentam um papel importante no desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis. No entanto, a abordagem LCA não é a mesma nos diferentes métodos de avaliação de sustentabilidade e, portanto, os resultados da avaliação do desempenho ambiental não são semelhantes nem comparáveis. É necessária a integração de métodos mais rigorosos e normalizados de avaliação do desempenho ambiental para verificar se o desempenho pretendido foi realmente atingido, para precisar a comparação de soluções e permitir a comparação credível entre os resultados obtidos a partir de diferentes sistemas de classificação.

Tabela 1: Resumo dos efeitos sobre a saúde humana associados a componentes químicos usados em produtos de construção

Produto	Composto	Efeitos sobre a saúde humana
Isolamento térmico e acústico	CFC7HCFC	Irritação de pele, vômitos e sonolência
	Amianto	Cancro de pulmão
	Enxofre	Problemas cutâneos, Cancro
	Poeiras	Dificuldades respiratórias, alteração de vitamina D
Cimento	Óxidos de azoto	Irritação nos pulmões, diminuição da resistência do sistema respiratório
	PM10	Alterações respiratórias
	N ₂ O	Contrações involuntárias
	Crómio	Asma, cancro de pulmão e dermatites
PVC	POP's (poluentes orgânicos persistentes)	Doenças de fígado, alteração do sistema nervoso
Aço	CO	Dificuldade em transportar oxigénio
	Dioxinas	Alteração do sistema imunológico
Construção	Poeira	Alergias
Pavimentação/Vedação	Asfalto	Irritação ocular, queimaduras
Tinta	Chumbo	Alteração do sistema nervoso
Pedra	Radão	Cancro de pulmão

Com o objetivo de padronizar e facilitar a interpretação de resultados e a comparação entre resultados de diferentes avaliações da sustentabilidade do edificado Europeu, o CEN (Centro Europeu de Normalização) deu início ao Comité Técnico 350 (CEN/TC 350). O documento EN 15643-2:2011 é parte de um conjunto de normas europeias em que assenta a avaliação do contributo dos edifícios para o desenvolvimento sustentável, através da avaliação do desempenho ambiental dos mesmos. Nesta família de normas, a metodologia de avaliação é baseada numa abordagem de ciclo de vida que permite a avaliação quantitativa do desempenho ambiental de um edifício.

Com base no trabalho do CEN TC 350 e da iiSBE Portugal, no desenvolvimento do sistema de classificação Português SBTool^{PT}®, este artigo discutirá os indicadores ambientais que devem ser considerados na avaliação do desempenho ambiental de um edifício e novas soluções para a simplificação do método LCA, que permitirão a disseminação da sua utilização na prática do projeto e construção de edifícios, tanto em Portugal como a nível internacional.

2. Etapas LCA em edifícios e estruturas

A avaliação do ciclo de vida (LCA) corresponde a uma abordagem sistemática de quantificação de potenciais impactes ambientais de um produto ou serviço durante o seu ciclo de vida. O LCA considera os potenciais impactes ambientais durante todo o seu ciclo de vida de um produto, que vai desde a aquisição de matéria-prima até à sua eliminação no final do ciclo de vida.

O LCA é bastante importante para comparar várias soluções alternativas, equivalentes sob o ponto de vista funcional, mas que apresentam diferenças em relação às consequências ambientais. Para construções, tais como pontes, o desempenho ambiental incorporado nos materiais de construção assim como os impactes da fase de construção na paisagem e na biodiversidade do local, ultrapassarão várias vezes os impactes ambientais relacionados com a utilização deste tipo de construções. Para os edifícios tais como, residências e escritórios, os impactes ambientais de ciclo de vida são dominados pelo consumo de energia, associado ao aquecimento ou arrefecimento, registado durante a sua utilização. Por conseguinte, nas construções como, por exemplo, diques e pontes, a prioridade deverá ser atribuída à seleção de materiais eco-eficientes, enquanto nos edifícios a equipa de projeto deverá incorporar soluções e sistemas mais eficientes sob o ponto de vista de consumo energético. Contudo, com o desenvolvimento de edifícios energeticamente eficientes e utilização de fontes de energia menos poluentes, a importância da produção de materiais e das fases de fim de vida dos mesmos para os impactes de ciclo de vida de um edifício deverá aumentar no futuro.

Atualmente existem duas normas específicas para definição do enquadramento e exigências de um LCA: ISO/FDIS 14040 2006, Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e enquadramento; e a ISO/FDIS 14044 2006, Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e diretrizes. Estas normas substituíram, a 01 de Julho de 2006, as quatro Normas que vigoravam até à altura: ISO 14040; ISO 14041; ISO 14042 e ISO 14043.

Segundo as normas ISO 14040 e ISO 14044, e tal como apresentado na Figura 1, a implementação de uma análise LCA é realizada em quatro fases distintas:

- Definição do Objetivo e do Âmbito;
- Inventário de Ciclo de Vida;
- Avaliação dos Impactes de Ciclo de Vida;
- Interpretação.

Tal como se apresenta na Figura 1, o LCA é essencialmente um processo iterativo.

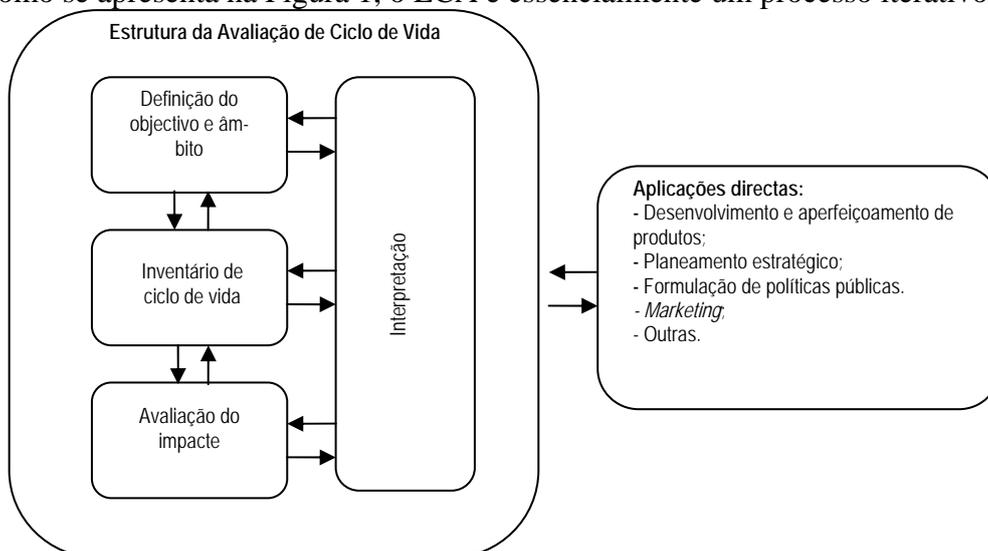


Fig. 1: Fases de implementação do LCA (adaptado ISO/FDIS 14040: 2006)

A Avaliação do Ciclo de Vida pode ser aplicada a um produto isolado ou a um conjunto de produtos, tais como edifícios. O ciclo de vida de um edifício é convencionalmente constituído por três fases distintas (fase de produto, fase de utilização e fase de fim de vida), cada uma constituída por vários processos.

3. O LCA nos sistemas de apoio ao projeto de edifícios sustentáveis

3.1 Indicadores de desempenho ambiental

Os sistemas e ferramentas de avaliação e certificação da sustentabilidade destinam-se a promover a conceção, construção, operação manutenção e desmontagem/desconstrução de edificações mais sustentáveis, promovendo e possibilitando uma maior integração entre as preocupações ambientais, sociais, funcionais e económicas e outros critérios de decisão tradicionais. Estes sistemas e ferramentas podem ser utilizados para apoiar o projeto de edifícios mais sustentável, pois transformam os objetivos da construção sustentável em níveis de desempenho específicos, e na avaliação do desempenho global. Existem diferentes perspetivas de sustentabilidade nos diferentes sistemas de avaliação e certificação da sustentabilidade dos edifícios. No entanto, esses sistemas apresentam vários princípios comuns. Na generalidade, estes sistemas e ferramentas contemplam, direta ou indiretamente, com as mesmas categorias de desempenho do ciclo de vida: uso do solo; consumo de água; eficiência energética; utilização de materiais; e qualidade do ambiente interior [2].

O LCA é um método importante para a avaliação da sustentabilidade, uma vez que é utilizado para avaliar o desempenho ambiental de uma maneira ao mesmo tempo holística e precisa. No entanto, na construção e na maior parte das vezes, este método é apenas utilizado na avaliação individual do desempenho ambiental de um produto ou material de construção.

A realidade atual mostra que o tipo e número de indicadores de impacto ambiental são diferentes nos diversos métodos de avaliação de sustentabilidade. Existe uma vasta gama de categorias de impacto, normalmente classificadas de duas formas: intermédias (*midpoints*) ou finais (*endpoints*). As primeiras refletem o mecanismo ambiental e são indicadores para o impacto ambiental, enquanto as segundas refletem as grandes consequências, isto é, refletem questões de preocupação ambiental como a saúde humana, a extinção de espécies e a disponibilidade dos recursos para as gerações futuras, entre outros. As categorias de impacto intermédias, também referidas como indicadores, refletem o mecanismo ambiental compreendido entre as emissões e a extração de recursos, do inventário do ciclo de vida (LCI), e as categorias de dano. Estas categorias de impactos são utilizadas no método clássico de avaliação de impactos para quantificar os resultados numa fase prévia na corrente causa-efeito, numa tentativa de limitar as incertezas. Os métodos LCA intermédios agrupam os resultados LCI nas designadas categorias de impacto ambiental intermédias, que incluem aspetos como: a destruição da camada de ozono estratosférica; acidificação do solo e da água; ou aquecimento global.

O LCA pode ser incorporado nos sistemas de avaliação da sustentabilidade para quantificar as cargas ambientais associadas à produção de produtos de construção. Tais cargas incluem o consumo de recursos primários e a produção de resíduos líquidos, gasosos e sólidos. A maioria dos sistemas de certificação utiliza as categorias de impacto intermédio, mas não avaliam o desempenho ambiental de um edifício de um modo consistente com o método LCA.

A diferença entre a abordagem de avaliação de impactos ambientais nos diversos métodos de avaliação torna difícil a comparação de resultados obtidos nos diferentes métodos. O objetivo do trabalho de normalização desenvolvido pelo CEN/TC 350 passa por solucionar este problema ao nível europeu, através do desenvolvimento de uma abordagem visando o forne-

cimento de informações ambientais voluntárias que permitam apoiar os projetistas no sentido do desenvolvimento de construções mais sustentáveis. A norma EN 15978:2011 introduz o método de cálculo do desempenho ambiental, que abrange todas as fases do ciclo de vida da construção: fases de montagem, operação, manutenção e fim de vida. A lista de indicadores ambientais é desenvolvida de tal forma que potencia a utilização de dados de LCI obtidos a partir de declarações ambiental de produto (EPDs). Tendo por base esta norma, e tal como apresentado na Tabela 2, os indicadores de desempenho ambiental podem ser subdivididos em três grupos: i) indicadores que expressam impactes ambientais; ii) indicadores que expressam a utilização de recursos; e iii) Indicadores que expressam informação ambiental adicional.

Tabela 2. Indicadores para a avaliação do desempenho ambiental (fonte EN 15978:2011)

Indicadores que expressam impactes ambientais	Indicadores que expressam a utilização de recursos	Indicadores que expressam informação ambiental adicional
<ul style="list-style-type: none"> – Alterações climáticas expressas em Potencial de Aquecimento Global (GWP); – Destruição da camada de ozono estratosférico (ODP); – Potencial de acidificação do solo e da água (AP); – Potencial de eutrofização (EP); – Formação de ozono troposférico, expresso em oxidantes fotoquímicos (POCP). – Potencial de esgotamento de recursos abióticos, exceto combustíveis fósseis, (ADP_recursos); – Potencial de esgotamento de recursos abióticos de combustíveis fósseis, (ADP_combustíveis fósseis). 	<ul style="list-style-type: none"> – Utilização de energia primária renovável, excluindo os recursos utilizados como matéria-prima; – Utilização de energia primária renovável, utilizada como matéria-prima; – Utilização de energia primária não-renovável, excluindo os recursos utilizados como matéria-prima; – Utilização de energia primária não-renovável, utilizada como matéria-prima; – Utilização de materiais secundários (reutilização e co-produtos); – Utilização de combustíveis renováveis secundários (co-produtos); – Utilização de combustíveis não-renováveis secundários (co-produtos); – Consumo de água potável. 	<ul style="list-style-type: none"> – Deposição de resíduos perigosos; – Deposição de resíduos não-perigosos; – Deposição de resíduos radioativos; – Componentes para reutilização; – Materiais para reciclagem; – Materiais para valorização energética (exceto inceneração); – Energia exportada para a rede.

O objetivo da listagem de categorias de impacto é a representação de uma imagem quantificada de aspetos e impactes ambientais causados pelo objeto em avaliação (edifício) durante o seu ciclo de vida. Conforme apresentado na Tabela 2, a avaliação do desempenho ambiental de um edifício deve ser efetuada através da avaliação de sete indicadores quantitativos para os impactes ambientais expressos nas categorias de impacto da avaliação do LCA, oito indicado-

res quantitativos que expressam a utilização de recursos e sete indicadores quantitativos que expressam informação ambiental adicional. A abordagem das normas do CEN é aplicável a edifícios novos e existentes. No futuro, todas as avaliações de sustentabilidade normalizadas devem considerar os mesmos indicadores, pelo que os novos sistema de avaliação da sustentabilidade deverão ser consistentes com as mesmas e é expectável que os já existentes evoluam no sentido desta nova abordagem. O método de avaliação da sustentabilidade Português (SBTool^{PT®}) já se encontra adaptado aos requisitos desta nova família de normas.

3.2 Quantificação das categorias de impacte ambiental

A avaliação das categorias de impacte ambiental é definida como sendo um processo técnico, quantitativo, e/ou qualitativo, para caracterizar e avaliar os efeitos dos fluxos identificados na fase de inventário de ciclo de vida [3]. Esta fase da metodologia de LCA consiste na avaliação sistemática dos impactes, isto é, determina a contribuição potencial do produto para as categorias de impacte ambiental, tais como o Aquecimento Global, Acidificação, entre outras.

Segundo a norma ISO 14040, esta fase encontra-se subdividida em duas etapas obrigatórias (classificação e caracterização) e duas opcionais (normalização e agregação). De acordo com a mesma norma, um estudo que não inclua as etapas de classificação e caracterização, não poderá ser denominado de análise LCA, mas sim de inventário de ciclo de vida (LCI).

Os resultados obtidos na fase de inventário (LCI) contêm geralmente centenas de diferentes emissões e parâmetros relacionados com a extração de recursos. A etapa de classificação compreende a distribuição dos resultados na fase LCI pelas diversas categorias de impacte que são relevantes para o objetivo da análise. Por exemplo, as emissões de CO₂ e de CH₄ contribuem para o Aquecimento Global pelo que são atribuídas a esta categoria de impacte, enquanto as emissões de SO₂ e NH₃ são atribuídas à categoria de impacte Acidificação. É possível atribuir determinadas emissões simultaneamente a diferentes categorias de impacte. Por exemplo, o SO₂ também pode ser atribuído às categorias Saúde Humana e/ou Doenças Respiratórias. A fase de caracterização compreende o estudo da contribuição relativa de cada um dos resultados LCI no valor do indicador cada categoria de impacte ambiental. Apesar de diferentes emissões poderem contribuir para a mesma categoria de impacte, a sua contribuição não é igual. Para o efeito, é necessário definir os diversos fatores de caracterização, associados a cada emissão e aos diferentes tipos de categorias de impacte.

A etapa de normalização possibilita a comparação entre os diversos tipos de categorias de impacte ambiental, pois nesta etapa os valores dos impactes são convertidos na mesma unidade. A etapa seguinte, agregação, possibilita a determinação de indicadores globais e implica a atribuição de um peso a cada categoria de impacte ambiental, em função da sua importância relativa.

Os métodos de avaliação do impacte de ciclo de vida compreendem uma análise de entrada e saída de materiais, de consumos de energia e de emissões para o ambiente de um produto ao longo do seu ciclo de vida. Existem basicamente dois tipos de métodos de avaliação de ciclo de vida: os intermédios (*midpoints*) e os finais (*endpoints*). Como exemplo de métodos intermédios existem, entre outros: o CML Baseline 2000; o Cumulative Energy Demand; e o TRACI. Em relação aos métodos finais, referem-se a título de exemplo o Eco-Indicator 99, EPS 2000 e EDIP 2003. Geralmente, o número avaliado de categorias de impacte avaliadas varia de 10 a 20. Alguns dos métodos permitem a agregação dos resultados obtidos nas diferentes categorias num único valor global e outros não. O tipo de método a utilizar depende sobretudo do objetivo do estudo.

As Declarações Ambientais de Produto (EPD) constituem uma boa fonte de informação quantificada sobre o desempenho ambiental de um produto. Para potenciar o seu uso, os sistemas de avaliação da sustentabilidade devem basear-se nas mesmas categorias LCA, tal

como indicado na norma CEN. No entanto, de momento existem importantes limitações sobre esta abordagem, uma vez que existe apenas um pequeno número de empresas que possui ou torna pública a EPD dos seus produtos. Uma solução para ultrapassar este problema, quando a EPD para materiais usados não está disponível, é a de utilizar os resultados provenientes da utilização de ferramentas e métodos externos de LCA (por exemplo a ferramenta SimaPro e o método CML Baseline 2000). Uma importante desvantagem deste processo é que os procedimentos de LCA são bastante morosos e complexos e, por conseguinte, a maioria das equipas de projeto não apresentam as competências necessárias para a sua aplicação. Esta constitui atualmente a mais importante barreira para a implementação de práticas mais sustentáveis no edificado e na construção.

Uma das soluções para contornar esta barreira e catalisar a desenvolvimento de soluções construtivas e de edifícios mais sustentáveis passa pelo desenvolvimento e utilização de base de dados de LCA relativas aos materiais de construção e soluções construtivas mais utilizados. Numa primeira fase, como se desconhecem os dados LCI específicos da generalidade dos materiais de construção consumidos em Portugal, essa base de dados terá de ser baseada em dados LCI genéricos, correspondentes, por exemplo, à média do contexto Europeu. Esta é a abordagem utilizada na ferramenta Portuguesa de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT®} e que foi desenvolvida numa perspetiva de potenciar a aplicação na prática de uma abordagem LCA normalizada. A base de dados integrada no sistema SBTool^{PT®} apresenta os valores quantificados para as categorias ambientais que normalmente constam nas EPDs e encontra-se em constante atualização. Esta base de dados abrange as tecnologias de construção mais comuns para cada elemento de construtivo (pavimentos, coberturas, paredes exteriores, paredes interiores, janelas, portas, etc.) e os materiais de construção mais utilizados.

A modelação das fases de ciclo de vida das soluções construtivas e materiais de construção para quantificação dos indicadores ambientais foi realizada no programa informático SimaPro v7.2 (Pré-consultants, 2010). Este programa integra as mais importantes bases de dados LCI internacionais e vários métodos LCA, que permitem converter os fluxos de materiais e respetivos valores de LCI em potenciais impactes ambientais. Para a quantificação das categorias de impacte ambiental foram utilizados três métodos intermédios de LCA: o método “CML 2 Baseline 2000” (CML, 2001), o método “Cumulative Energy Demand” (Frischknecht et al, 2003) e o método “IPCC 2001 GWP” (CC, 2001).

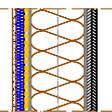
Na Tabela 3 relacionam-se as categorias de impacte ambiental com o método utilizado na sua quantificação e apresentam-se as unidades em que se expressam cada uma delas.

Tabela 3: Método LCA e unidades utilizados na quantificação de cada uma das categorias de impacte ambiental da base de dados LCA do sistema SBTool^{PT®}

Categorias de impacte ambiental	Acrónimo	Método de LCA	Unidade
Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	ADP	CML 2 baseline 2000	kg Sb eq
Alterações climáticas	GWP	IPCC 2001 GWP	Kg CO ₂ eq
Potencial de destruição da camada de ozono	ODP		Kg CFC-11 eq
Potencial de acidificação	AP	CML 2 baseline 2000	kg SO ₂ eq
Potencial de formação de ozono troposférico	POCP		Kg C ₂ H ₄ eq
Potencial de eutrofização	EP		kg PO ₄ eq
Energia não-renovável incorporada	ENR	Cumulative Energy Demand	MJ eq
Energia renovável incorporada	ER		MJ eq

A Figura 2 apresenta, a título de exemplo, o modo como a informação, resultante da quantificação das categorias de impacto ambiental de uma das soluções construtivas analisadas, se encontra organizada na Base de Dados de LCA desenvolvida. Neste caso, os valores apresentados para as categorias de impacto ambiental são os que estão relacionados com a construção de 1 m² de parede exterior com estrutura em aço galvanizado moldado a frio.

A Base de Dados desenvolvida possibilita a quantificação dos impactos ambientais de ciclo de vida de um edifício através de uma abordagem bottom-up, isto é, o impacto ambiental de ciclo de vida de um edifício resulta do somatório do impacto ambiental associado a cada solução construtiva (incluindo os impactos relacionados com a manutenção e com o cenário de fim de vida) com o impacto associado ao consumo de energia durante a fase de utilização. A forma como a informação está estruturada, permite estimar os impactos ambientais de ciclo de vida de um edifício em duas etapas.

Componente do edifício:	Parede exterior em estrutura de aço galvanizado moldado a frio							Ref: Parede 6	
	Fases do ciclo de vida	Categorias dos impactos ambientais no LCA					Energia incorporada		
		ADP ¹	GWP ²	ODP ³	AP ⁴	POCP ⁵	EP ⁶	ENR ⁷	ER ⁸
	Cradle-to-gate	4,79E-01	5,07E+01	2,20E-06	6,52E-01	3,03E-02	5,26E-02	1,11E+03	2,64E+02
	Desmontagem e eliminação	3,90E-02	6,10E+00	9,20E-07	3,00E-02	1,10E-03	6,40E-03	8,80E+01	4,25E-01
	Total	5,18E-01	5,68E+01	3,12E-06	6,82E-01	3,14E-02	5,90E-02	1,20E+03	2,64E+02
Comentários:	<p>Materiais considerados: gesso cartonado (acabamento interior), aço galvanizado (estrutura), lã mineral (isolamento de cavidades), painel de fibras de madeira orientadas (OSB), EPS (isolamento térmico) e argamassa de cimento Portland (reboco exterior)</p> <p>Método LCA: CML 2 baseline 2000 method (versão 2.04, para quantificar as categorias de impacto ambiental no LCA) e Cumulative Energy Demand (versão 1.04, para avaliar a energia incorporada)</p> <p>Biblioteca(s) LCI: Ecoinvent</p>								

Notas:

¹. Potencial de destruição abiótica equivalente em kg Sb; ². Potencial de aquecimento global equivalente em kg CO₂; ³. Potencial de destruição do ozono equivalente em kg CFC-11; ⁴. Potencial de acidificação equivalente em kg SO₂; ⁵. Potencial de oxidação fotoquímica de ozono equivalente em kg C₂H₄; ⁶. Potencial de eutrofização equivalente em kg PO₄; ⁷. Não-renovável energia incorporada equivalente em MJ; ⁸. Energia renovável incorporada equivalente em MJ.

Fig. 2: Parte da base de dados LCA do sistema SBTTool^{PT®} correspondente a uma solução construtiva

Na versão atual, a Base de Dados LCA abrange um total 107 soluções construtivas (16 de pavimentos, 28 de paredes exteriores, 22 de paredes interiores, 23 de coberturas e 18 tipos de envidraçado), 47 materiais de construção e o impacto ambiental associado à utilização de 12 equipamentos de climatização e de aquecimento de água sanitárias [4]. Esta base de dados deverá ser atualizada regularmente de modo a incorporar as versões mais recentes das bases de dados de LCI e dos métodos LCA utilizados, e a abranger o maior número de soluções construtivas que são utilizadas nos edifícios e que surgem periodicamente no mercado.

3.3 Avaliação do desempenho ambiental

Uma longa lista de indicadores com os seus valores associados não é útil para avaliar um produto ou para comparar o seu desempenho ambiental global. Por conseguinte, a melhor solução passa por combinar indicadores de modo a obter o melhor desempenho global da solução [5]. A metodologia SBTTool^{PT®} baseia-se num processo de agregação completo para a avaliação do desempenho ambiental global (G_{EP}), de acordo com a equação 1.

$$G_{EP} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \bar{I}_i \quad (1)$$

Em que, I_i é o valor normalizado do indicador i e w_i é o peso desse mesmo indicador. A soma de todos os pesos deve ser igual a 1. O objetivo da normalização é evitar efeitos de escala na agregação e resolver o problema de alguns parâmetros do tipo “quanto maior, melhor” e

outros do tipo “quanto menor, melhor”. A normalização utilizada no SBTool^{PT®} tem como base a equação de Diaz-Balteiro (Equação 2) [6].

$$\bar{I}_i = \frac{I_i - I_{*i}}{I_i^* - I_{*i}} \quad \forall_i \quad (2)$$

Na equação (2), I_i corresponde ao valor quantificado do indicador ambiental i por ano e por área útil na solução, objeto de avaliação. I_i^* e I_{*i} são os valores de referência do indicador ambiental i . I_{*i} corresponde à prática convencional e I_i^* corresponde à melhor prática.

No que diz respeito ao peso de cada um dos parâmetros ambientais, estes são baseados nos estudos do Conselho Consultivo da Agência para a Ciência e Proteção Ambiental dos EUA (TRACI) e também num estudo elaborado pela Universidade de Harvard [7].

4. Conclusões

Embora o LCA seja considerado o melhor método disponível para a avaliação do desempenho ambiental de um produto, a aplicação deste na construção é bastante complexo. Esta situação deve-se ao grande número de materiais utilizados, intervenientes, processos e à elevada duração do ciclo de vida de uma de construção.

Baseado no trabalho desenvolvido pelo CEN TC 350 e no desenvolvimento do sistema Português de classificação (SBTool^{PT®}), este artigo apresenta algumas soluções para transpor as dificuldades encontradas na utilização do método LCA na avaliação do desempenho ambiental de soluções construtivas em aço. O desenvolvimento, por especialistas, de bases de dados de LCA, que contenham informações acerca do desempenho ambiental de materiais e tecnologias construtivas, é uma boa solução para permitir a generalização da utilização do método LCA no projeto de construções metálicas.

Referências

- [1] Carmody, J., Trusty, W., Meil, J., Lucuik, M. “Life cycle Assessment tool for building assemblies”. *Proceedings of the international Conference “Portugal SB07”*, Part 1: 334 - 340. Lisboa, Portugal, 12-14 Setembro, 2007.
- [2] Bragança, L., Mateus R., Koukari H. “Perspectives of Building Sustainability Assessment”. *Proceedings of the international Conference “Portugal SB07”*, Part 1: 356-365. Lisbon, Portugal, 12-14 Setembro, 2007.
- [3] Bragança L, Mateus R, Koukari H. *Building sustainability assessment. Sustainability* 2010;2(7):2010-23.
- [4] Bragança L, Mateus R. *Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios: impacte ambiental de soluções construtivas. Edições iiSBE Portugal*: Guimarães. ISBN: 978-989-96543-3-4, 2011.
- [5] Allard, F., Chéqui, F., Wurtz, E. & Mora, L.C. *A methodology to assess the sustainability of rehabilitations projects in urban buildings, LEPTAB*, University of La Rochelle, France, 2004
- [6] Diaz-Balteiro L. & Romero C. *In search of a natural systems sustainability index, Ecological Economics*; 49, pp 401-405, 2004.
- [7] EPA. *Toward Integrated Environmental Decision-Making*, United States Environmental Protection Agency, Science Advisory Board, EPA-SAB-EC-00-011, Washington, D.C, 2000.