AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL: ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS INCORPORADOS PELOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO[1]

PESSOTO, L., Universidade de São Paulo / Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, email: lpessoto@ipt.br; SILVA, F. B., Universidade de São Paulo / Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, email: fbsilva@ipt.br; OLIVEIRA, L. A., Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, email: luciana@ipt.br; JOHN, V. M. Universidade de São Paulo, email: vmjohn@lme.pcc.usp.br

ABSTRACT

The production of building materials plays an important role in determining the total environmental impact of buildings. In this study, the impact caused by the production of materials used in a popular building was assessed by means of Life Cycle Assessment. The Life Cycle Inventory was developed using ecoinvent version 3.3 and 16 impact categories were assessed, using four different LCIA methods (CED, CML, ReCiPe and Usetox). The main materials that contribute to the impact categories considered were presented, as well as which activities and substances emitted (or consumed) have the major contributions to environmental impacts. Most impact categories are related to fossil fuel consumption and corresponding emissions. Water consumption, resource depletion, particulate emission and land use are other relevant environmental impacts for construction. Some impact categories are related to activities far upstream the value chain, such as petroleum extraction. These differences must be considered when taking decisions for improving the environmental performance in the construction sector. Results also indicate a potential for simplification of the impact assessment step, that could help the adoption of LCA in construction sector.

***Keywords**: Life Cycle Assessment; Environmental Performance; Embodied Impact; Construction; Building.*

1 INTRODUÇÃO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite caracterizar o desempenho ambiental de produtos, por meio da quantificação dos fluxos de massa e energia ao longo de todo o ciclo de vida, o que é denominado "Inventário do Ciclo de Vida (ICV)". Modelos de "Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida" (AICV) transformam os fluxos de inventário em diferentes indicadores de impacto ambiental, como aquecimento global, acidificação, eutrofização, entre outros (IBICT, 2014). Existe uma grande variedade de modelos de AICV, nenhum dos quais inquestionavelmente estabelecido.

Embora a ACV seja indicada para avaliação do desempenho ambiental na construção civil (CBCS; MMA; PNUMA, 2014), os indicadores ambientais

[1] PESSOTO, L.; SILVA, F. B.; OLIVEIRA, L. A.; JOHN, V. M. Avaliação do ciclo de vida de uma edificação residencial: análise dos impactos ambientais incorporados pelos materiais de construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

convencionais da ACV ainda são pouco familiares aos profissionais deste setor (WBCSD, 2016). Consequentemente, ainda não existe sensibilidade da contribuição de cada material para as diferentes categorias de impacto, o que dificulta a tomada de decisões visando mitigar estes impactos ambientais.

Este trabalho tem como objetivo analisar como os processos de produção dos principais materiais de construção contribuem para as diferentes categorias de impacto ambiental da ACV, visando subsidiar a interpretação dos resultados de estudos de ACV na construção.

2 MÉTODO

Quantificaram-se os materiais de uma casa térrea unifamiliar, que tem sido reproduzida em larga escala, com uma configuração típica para habitação de interesse social no Brasil. A casa tem área de 67 m² , fundação e piso térreo em radier, paredes de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, revestidas em argamassa, pintura e parcialmente com placas cerâmicas. As esquadrias são de alumínio e as portas em madeira. A laje de cobertura é em vigotas de concreto armado e lajotas cerâmicas. As telhas cerâmicas são apoiadas em em estrutura de aço galvanizado. As instalações elétricas são em fios de cobre encapados com PVC e as instalações hidráulicas em PVC, cobre e aço galvanizado.

Os inventários do berço ao portão (*cradle to gate*), que incluem desde os processos de extração dos recursos naturais até o término da fabricação dos materiais de construção, foram extraídos da base de dados ecoinvent 3.3 (WERNET et al., 2016), escopo geográfico "*Rest of the Word*" e alocação "*cut-off by classification*". Apesar das dúvidas acerca da representatividade dos dados da base para a situação brasileira (SILVA et al., 2017), avaliamos que os dados utilizados servem para o propósito da presente análise. Os métodos de AICV utilizados (Tabela 1) foram: CED (1.09), CML 1A *baseline* (3.04), ReCiPe 2016 Midpoint H e USETox (2.02), visando cobrir diversas categorias de impacto. O cálculo foi feito por meio do software Simapro (versão 8.4.0.0).

Tabela 1 – Métodos, categorias de impacto e unidades correspondentes.

Método	Categoria de impacto	Sigla	Unidade
CED	Demanda acumulada de energia	CED	MJ
CML	Depleção de recursos abióticos (elementos)	AD-e	kg Sb eq
	Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis)	AD-f	MJ
	Potencial de aquecimento global	GWP	kg CO_2 eq
	Potencial de depleção da camada de ozônio	ODP	kg CFC-11 eq
	Potencial de oxidação fotoquímica	POCP	kg C_2H_4 eq
	Potencial de acidificação	AP	kg SO_2 eq
	Potencial de eutrofização	EP	kg $(PO_4)^{-3}$ eq
ReCiPe	Radiação Ionizante	IR	kBq Co-60 eq
	Formação de partículas finas	FPMF	kg $PM_{2.5}$ eq
	Uso da terra	LU	m2a crop eq
	Consumo de água	WC	m^3
UseTox	Toxicidade Humana-câncer	HT-c	cases
	Toxicidade Humana-não câncer	HT-nc	cases
	Ecotoxicidade de água doce	FWET	PAF.m^3.day

Fonte: Elaboração própria.

Realizaram-se as seguintes análises: 1) contribuição percentual dos materiais para cada categoria de impacto; 2) identificação das principais substâncias causadoras de impacto pelo inventário de ciclo de vida; 3) identificação de quais atividades consomem ou emitem estas substâncias.

3 RESULTADOS

A constituição da edificação em massa é apresentada na Tabela 2.

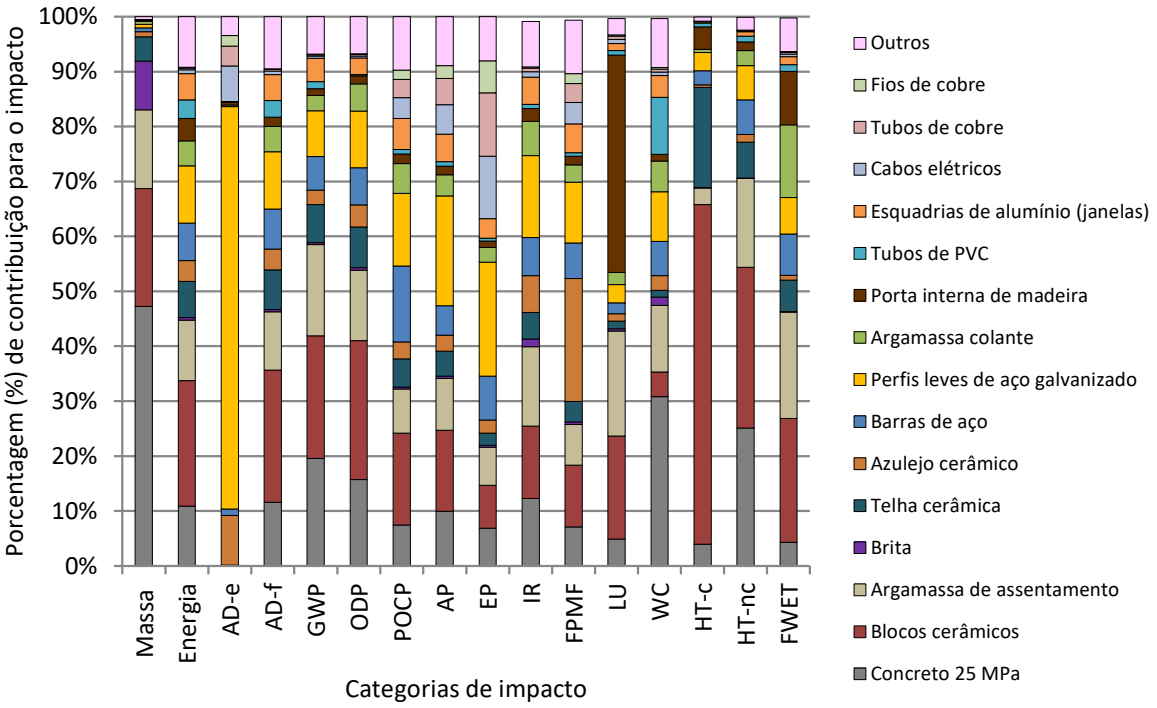
Tabela 2 – Constituição da edificação em massa.

Material	Porcentagem	Material	Porcentagem
Concreto	47,2%	Argamassa colante	0,5%
Blocos cerâmicos	21,5%	Porta interna de madeira	0,1%
Argamassa de assentamento	14,4%	Tubos de PVC	0,1%
Brita	8,9%	Janelas de alumínio	0,1%
Telha cerâmica	4,4%	Cabos elétricos	0,0%
Azulejo cerâmico	1,0%	Tubos de cobre	0,0%
Barras de aço	0,7%	Fios de cobre	0,0%
Perfis leves de aço galvanizado	0,6%	Outros*	0,5%
* materiais que contribuem com menos de 5% para todas as categorias de impacto: tintas, conexões, louças, metais, vidro, ferragens, reservatório de água			

Fonte: Elaboração própria.

A contribuição percentual dos materiais para a energia incorporada total e para as categorias de impacto analisadas (conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Contribuição percentual dos materiais para massa, energia incorporada e categorias de impacto (CED, CML, ReCiPe e UseTox)



Fonte: Elaboração própria.

As atividades em que ocorrem o consumo ou emissão das substâncias causadoras de cada impacto, bem como a identificação dessas substâncias, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Materiais, fluxos e substâncias causadoras de impacto.

Categoria de impacto	**Materiais que mais contribuem para a categoria de impacto**	**Atividades que consomem / emitem as substâncias causadoras do impacto**	**Substâncias causadoras do impacto, destino (ar, água ou solo)**
AD-e	Aço galvanizado	Consumo de minério metálico para produzir zinco	Cádmio Chumbo
AD-f	Cimentícios[1], cerâmica vermelha[2], aço, aço galvanizado	Consumo de combustíveis fósseis na produção dos materiais	Gás natural, carvão petróleo
GWP	Cerâmica vermelha, cimentícios, aço galvanizado	Combustão de combustíveis fósseis na produção dos materiais. Emissão de CO_2 geogênico na produção de clínquer.	CO_2 (ar)
ODP	Cerâmica vermelha, cimentícios, aço galvanizado	Vazamentos de substâncias extintoras de incêndio em plataformas de petróleo.	Halon 1301 (ar) Halon 1211 (ar)
POCP	Blocos cerâmicos, aço, aço galvanizado	Combustão incompleta de combustíveis fósseis na produção dos materiais	SO_2 (ar) CO (ar)
AP	Aço galvanizado, cerâmica vermelha, cimentícios	Combustão de combustíveis fósseis na produção dos materiais e calcinação do sulfeto de zinco para obtenção de zinco primário	SO_2 (ar), NOx (ar) e NH_3 (ar)

Categoria de impacto	Materiais que mais contribuem para a categoria de impacto	Atividades que consomem / emitem as substâncias causadoras do impacto	Substâncias causadoras do impacto, destino (ar, água ou solo)
EP	Aço galvanizado, cobre, aço	Lixiviação de rejeitos de mineração de cobre e de carvão (matéria-prima do coque utilizado na produção de aço).	Fosfato $(PO_4)^{3-}$ (solo), NO_x (ar)
IR	Cimentícios, blocos cerâmicos, aço galvanizado, aço	Rejeitos de mineração de urânio (parcela nuclear da matriz energética)	Radônio (ar) e Carbono-14 (ar)
FPMF	Azulejos, bloco cerâmico, cimentícios e aço galvanizado	Moagem de argila, calcário e cimento; e combustão de combustíveis fósseis (principalmente coque) na produção de ferro gusa	Partículas < 2,5 µm (ar) e SO_2 (ar)
LU	Portas de madeira, bloco cerâmico, cimentícios	Ocupação de área para produção de madeira para portas, pallets (bloco cerâmico) e papel kraft (embalagem do cimento)	Ocupação de solo
WC	Cimentícios, PVC e aço galvanizado	Lavagem de agregados (cimentícios), produção do PVC e resfriamento do aço (laminação)	Água
HT-c	Cerâmica vermelha	Queima incompleta de gás natural e óleo combustível na produção da cerâmica	Formaldeído (CH_2O, ar)
HT-nc	Blocos cerâmicos e cimentícios	Combustão de diesel para transporte das matérias-primas	Acroleína (C_3H_4O, ar)
FWET	Blocos cerâmicos, argamassas e porta de madeira	Emissão (C_9H_{12}) na produção do fenol presente na cola usada em pallets e portas de madeira, emissões de elementos orgânicos presentes na argila (C_6H_5OH, CH_2O) e descarte da água contaminada com fenol na extração do petróleo	Cumeno (C_9H_{12}, água), fenol (C_6H_5OH, água) e formaldeído (CH_2O, ar)

1. Cimentícios: argamassas e concreto;
2. Cerâmica vermelha: blocos e telhas

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que sete das 14 categorias de impacto analisadas (AD-f, GWP, ODP, POCP, AP, HT-c e HT-nc) são predominantemente relacionadas ao consumo de combustíveis fósseis e às emissões de sua combustão. Nestas categorias, as maiores contribuições para o impacto total são de materiais com elevado consumo energético, seja pela sua grande proporção em massa na edificação (ex.: materiais cerâmicos), pela intensidade energética do seu processo de produção (ex.: perfil de aço galvanizado) ou ambos. Registra-se também emissões atmosféricas diretas (geogênicas) de CO_2 na fabricação de clínquer (GWP) e de SO_2 na obtenção do zinco primário (AP).

As demais categorias de impacto somam fluxos de origem variada. Algumas destas atividades econômicas pertencem ao setor da construção propriamente dito, tais como a lavagem de agregados (determinante para WC), a emissão de particulados da moagem de alguns minerais (FPMF) e o uso da terra para a produção florestal que abastece produtos à base de

madeira (LU). Já outras atividades ocorrem à montante da fabricação de materiais de construção e pertencem a outros setores econômicos, tais como emissões originárias dos rejeitos de mineração de carvão (EP), de urânio (IR), e emissões fugitivas na extração de petróleo (ODP, FWET).

Observa-se ainda que algumas substâncias causadoras de impacto são comuns a mais de uma categoria. É o caso do SO_2, que influencia as categorias POCP, AP e FPMF, bem como do NOx, que influencia as categorias AP e EP. Não é claro se estas substâncias podem contribuir para todos estes impactos (simultaneamente ou em sequência) ou se uma parcela de cada contribui para diferentes impactos, hipótese que configuraria uma dupla contagem.

Os três materiais que representam 80% da massa da edificação (concreto, bloco cerâmico e argamassa de assentamento) tem impacto ambiental proporcionalmente menor que sua massa. Na categoria AD-e, por exemplo, estes materiais apresentam uma contribuição irrelevante. A contribuição dos materiais para o impacto ambiental incorporado está mais correlacionada ao consumo energético para sua fabricação (traduzido no indicador de demanda acumulada de energia).

4 CONCLUSÕES

Considera-se que a análise apresentada permite um melhor entendimento do significado das categorias de impacto da ACV para materiais de construção, o que possibilita um melhor embasamento na definição de medidas de melhoria de desempenho ambiental no setor.

Algumas categorias de impacto são determinadas por fluxos de processos pertencentes ao setor da construção: consumo de combustíveis fósseis e emissões atmosféricas correspondentes (AD-f, GWP, ODP, POCP, AP, HT-c e HT-nc), ocupação do solo (LU), consumo de água (WC), consumo de metais (AD-e) e formação de material particulado (FPMF). Para estes impactos, portanto, é possível interferir diretamente nos processos de produção implantando medidas de melhoria (aumento da eficiência do uso de combustíveis, tecnologias de redução de emissão de poluentes, entre outros).

Outras algumas categorias de impacto são determinadas por fluxos que não estão diretamente relacionados à construção (EP, IR, ODP, FWET), notadamente rejeitos e emissões fugitivas da exploração de matérias-primas muito à montante na cadeia de valor. Neste caso, a possibilidade de interferência nos processos é reduzida, e a melhoria do resultado de impacto destas categorias restringe-se ao aumento da eficiência no uso de materiais (ou a substituições de materiais, o que está sujeito a muitos outros fatores, além do desempenho ambiental).

Observa-se ainda a possibilidade de reduzir a quantidade de informações veiculadas durante a etapa de AICV (ou seja, a diversidade de categorias de impacto), considerando-se que diversas categorias são determinadas por

fatores ou até mesmo fluxos de inventário comuns. Entretanto, a proposta dessa simplificação requer análises adicionais, considerando outras etapas do ciclo de vida da edificação (ex.: uso e fim de vida) e dados brasileiros (hoje muito limitados) a fim de evitar distorções causadas por aproximações e utilização de dados estrangeiros.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Fipt), pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

CBCS; MMA; PNUMA. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. [s.l: s.n.].

IBICT. **Manual do sistema ILCD**. Brasília: [s.n.].

SILVA, F. B. et al. **The importance of primary data for Life Cycle Assessment of construction products in Brazil**. VII International Conference on Life Cycle Assessment in Latin America. **Anais**...Medellín: 2017

WBCSD. **The Business Case for the Use of Life Cycle Metrics in Construction & Real Estate**. [s.l: s.n.].

WERNET, G. et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 9, p. 1218–1230, 2016.