AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DOS INSUMOS NO IMPACTO AMBIENTAL DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Tema: sustentabilidade, vida útil e meio ambiente.
Grupo: 1

SARAH H. LOPES DA SILVA[1], MARCELL M. C. MACENO[2], MARIENNE R. M. M. COSTA[3]

[1]Profª. Drª, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR, sarahh@utfpr.edu.br
[2] Profª. Dr - PPGECC, Universidade Federal do Paraná/UFPR, mariennemaron@gmail.com
[3] Profª. Drª - PPGECC, Universidade Federal do Paraná/UFPR, marcell.maceno@gmail.com

RESUMO
Objetivando analisar o perfil ambiental de uma argamassa dosada em obra tradicional, bem como a contribuição de seus insumos em seu impacto total, empregou-se a metodologia da avaliação do ciclo de vida assistida por software. Os resultados denotaram que os aglomerantes imprimem maior impacto, corroborando com a literatura, bem como indicaram a expressividade do impacto de cada insumo, em separado, quando extrapolado para o cenário da produção anual de argamassas.

Palavras-chave: argamassa dosada em obra, ACV, impacto dos insumos.

EVALUATION OF THE CONTRIBUTION OF INPUTS TO THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE COAT MORTAR

ABSTRACT
Aiming to analyze the environmental profile of a traditional coat mortar, as well as the contribution of its inputs in its total impact, the software-assisted life cycle assessment methodology was used. The results denoted that the binders have a greater impact, corroborating the literature, as well as indicating the expressiveness of the impact of each input, separately, when extrapolated to the scenario of the annual production of mortars.

Key-words: traditional coat mortar, LCA, impact of inputs.

1. INTRODUÇÃO

Ainda há lacunas relativas ao desempenho ambiental dos materiais de construção. Atualmente, apenas alguns fabricantes nacionais de materiais como cimento, aço e cerâmicas, já emitiram suas Declarações Ambientais de Produto (*Environmental Product Declarations* - EPDs). Estas consistem nas documentações técnicas onde se registra publicamente os impactos ambientais associados aos produtos, e já são documentos obrigatórios para todos os fabricantes em outros países(1). Os compostos cimentícios, estão entre os materiais de

construção que mais emitem poluentes. A própria indústria do cimento é a terceira do setor industrial mundial no ranking de emissões do gás carbônico antropogênico, sendo responsável por aproximadamente 8% das mesmas[2]. Desse modo, têm sido desenvolvidos materiais que tenham seus processos de produção controlados a fim de reduzir as emissões.

De uma forma geral, a melhora do desempenho ambiental dos produtos pode ser traduzida na substituição total ou parcial de seus constituintes mais poluentes por outros menos impactantes ou, também, realizar a troca de maquinários por outros que emitam menos poluentes e consumam menos energia. Para que seja possível tomar essas medidas, primeiramente é necessário conhecer o desempenho característico do material, sua composição, processo produtivo e aplicações para quantificar e avaliar todas as emissões ao longo de sua vida. Expõe-se que um dos métodos mais utilizados para avaliação ambiental de produtos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que contempla análise dos mesmos desde a extração da matéria prima até o descarte, podendo ser avaliada a reciclagem. Sendo assim, o objetivo da presente pesquisa é aplicar a metodologia da ACV à uma argamassa convencional e analisar o impacto de seus insumos em seu perfil ambiental.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa constituiu na avaliação dos impactos dos insumos de uma argamassa dosada/ misturada/ proporcionada em obra frequentemente empregada na região Sul do Brasil, com traço em volume de 1:1:6, empregado em massa e transformado conforme caracterização de insumos disponíveis no laboratório. A partir desta, realizou-se discussão acerca dos impactos isolados de cada insumo que compõe a argamassa e suas contribuições com o impacto total das argamassas (Tabela 1). A avaliação do ciclo de vida das argamassas contemplou as etapas do “berço ao portão”, ou seja, da extração de matéria prima até a produção e aplicação do material, conforme apresentado na Figura 1.

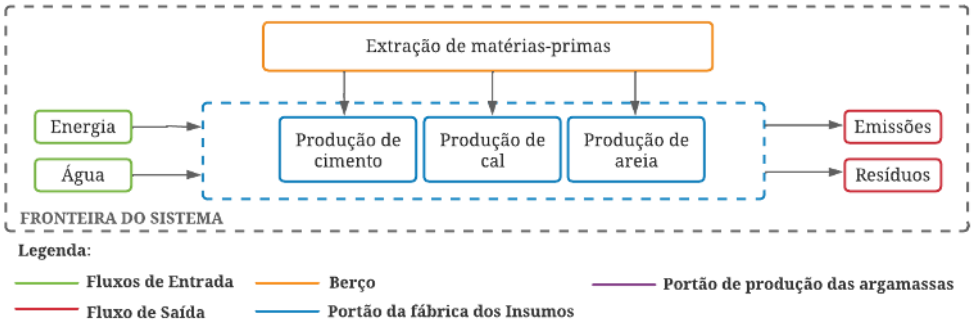
Tabela 1 – Insumos da argamassa empregada na ACV

Código	Traço em massa	Cimento	Cal	Agregado Miúdo
ADO (argamassa dosada em obra)	1,0: 0,6 : 8,7 : 1,96 (cimento:cal:areia:água)	CP II F	CH III	Areia de Cava

Fonte: Os autores.

Sendo assim, a caracterização foi realizada por meio da metodologia de cálculo CML baseline. Ressalta-se que essa metodologia possui abordagem *midpoint* e são empregadas para avaliações de impactos da esfera ambiental, tais quais as categorias enfatizadas nas análises desta pesquisa. Esclarece-se ainda, que muitos pesquisadores[3, 4] empregaram em ACV de materiais de construção o método CML baseline. Resume-se as condições de contorno da modelagem de ACV no Quadro 1.

Figura 1 - Fronteira do sistema de produto das argamassas



Fonte: Os autores.

Quadro 1 – Condições de contorno do estudo de ACV.

Objetivo	Identificar e avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida de argamassas de revestimento
Público-alvo	Comunidade acadêmica e profissionais da Construção Civil
Função	Produção e aplicação de argamassas de revestimento
Unidade Funcional	Produzir 1 m² de argamassa aplicado com 0,025 m de espessura
Fluxo de Referência	Massa de argamassa necessária para atender a unidade funcional
Sistema de produto	Berço ao Portão
Limites do sistema	Não será considerado: a logística dos materiais (transporte); produção e manutenção de infraestrutura (máquinas, meios de transporte, estradas, etc.)
Categorias de impacto	Todas as categorias disponibilizadas pelos métodos de cálculos CML *baseline* foram analisadas

FONTE: A autora (2022).

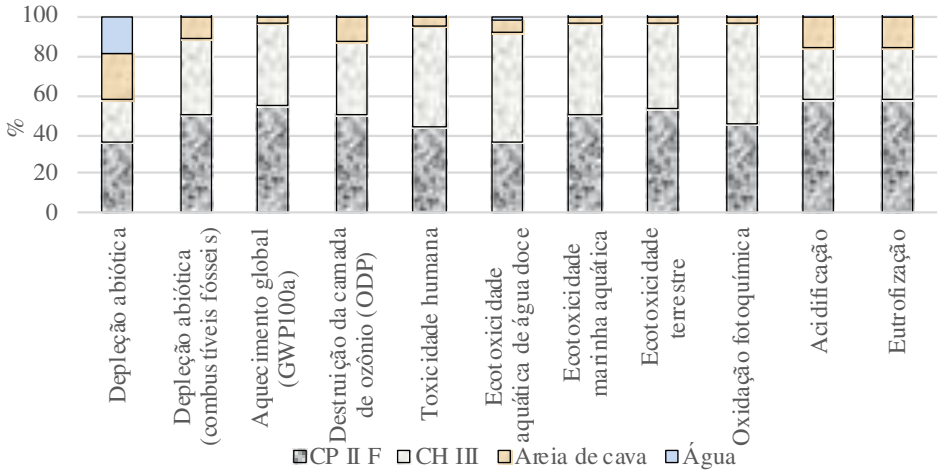
A modelagem do ciclo vida foi realizada com o auxílio do software SimaPro 9.1.1.1, e utilizada a base de dados do *Ecoinvent 3.8 – allocation, cut-off by classification - unit* que atualmente é a base com maior quantidade de dados globais. Não foi considerado nenhum critério de corte para exclusão de dados no levantamento do quantitativo de materiais, porém a base de dados adotada contempla critérios de alocação que não foram adotados na análise. Para composição do inventário foram escolhidos os materiais do cenário brasileiro (BR) e para os materiais que não tinham foram escolhidos aqueles que se enquadravam na categoria RoW (*Rest of the World*), que contempla dados do mundo, fora a Europa.

Explicita-se que os dados de caracterização, pós cálculo dos impactos, foram normalizados. Ratifica-se que normalização consiste em dividir os impactos gerados pelo produto, por categoria, pelos impactos gerados em alguma referência temporal e geográfica e pela população local ou mundial[5]. Essa normalização externa dos dados consiste em distribuir os impactos do produto avaliado ao longo de um espaço de tempo real, para verificação de suas representatividades[6]. A base de dados normalizados empregada nesta pesquisa foi a World 2000, conforme a ferramenta disponibilizada para tal no SimaPro, na qual cada metodologia possui já seu banco de dados normalizados cadastrado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados os impactos referentes ao processo de produção do "berço ao portão" da argamassa e seus insumos. Visando verificar o impacto ambiental por categoria de impacto da argamassa AF, bem como total, e o desempenho ambiental individual de cada insumo, apresenta-se a seguir os resultados de caracterização obtidos (Figura 2).

Figura 2 - Percentual da contribuição dos resultados de caracterização dos insumos da argamassa nas categorias de impacto



FONTE: A autora (2022).

Quanto aos resultados de caracterização obtidos, verificou-se a tendência de os aglomerantes (cimento e cal) gerarem mais impacto do que o agregado e a água empregados na mistura. Em especial, cabe destacar o impacto gerado referente à emissão de CO_2 total da argamassa, onde o valor obtido foi 5,795 kg CO_2 eq. Ademais, os resultados apresentados em percentuais demonstram a tendência de que o cimento representa maior parcela da maioria das categorias de impacto, como também notado por JOHN et al.[7].

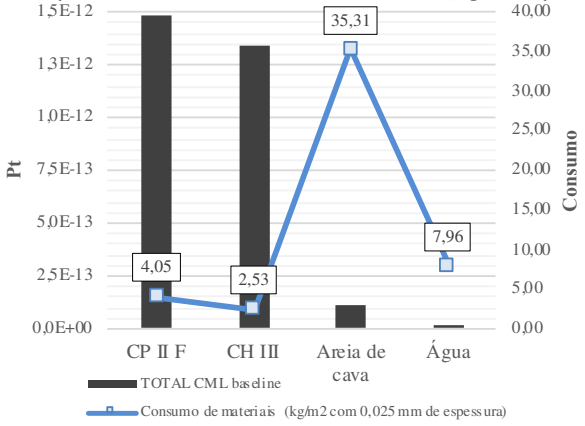
A partir dos resultados de caracterização, notou-se também que a parcela de impacto ambiental geral da água empregada na mistura é consideravelmente menor que dos demais insumos. Porém, no âmbito dos impactos globais, vale destacar que a água empregada nas misturas de argamassa é sempre a disponível na rede pública, ou seja, é água tratada. Consequentemente, a dosagem de água em misturas de argamassa traz consigo uma responsabilidade ambiental quanto à escassez de recursos hídricos, e quanto às emissões relativas ao tratamento e à distribuição urbana da água. Logo, extrapolando o consumo de água para produção anual de argamassas[8], identifica-se que o impacto é expressivo mesmo apresentando menores valores que os demais insumos. Considerando que aproximadamente 17% da massa total das argamassas é água[9], estima-se um consumo anual da ordem de 30 x10^6 litros.

No intuito de avaliar a representatividade de cada insumo e de cada categoria de impacto, conforme já explicado, os dados foram normalizados. Analisando os resultados notou-se que ao contrário do que se esperava com base na revisão da literatura[7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17], a categoria de Aquecimento Global não foi a mais representativa. Ressalta-se que o conjunto de normalização da CML baseline é do ano de 2000, por isso, é preciso considerar que em anos diferentes as emissões podem ser consideravelmente divergentes em virtude das atividades humanas e densidade demográfica do ano tomado como referência.

A partir dos dados expostos certifica-se que para a maioria das categorias o cimento e a cal são os maiores responsáveis pela geração de impacto. Este resultado corrobora com o que vem sendo exposto na literatura acerca das emissões inerentes à produção do cimento, principalmente, mas que também deve ser considerado na produção da cal em virtude do processo de calcinação da rocha calcária. No entanto, para as categorias de impacto tais como Depleção abiótica, Ocupação do solo, Transformação da terra e Uso da terra, o agregado foi responsável por mais de 20% do total dessas categorias. Isso comprova que cada material irá gerar impactos diferentes de acordo com seu processo produtivo, como era de se esperar.

Dessa maneira, foram avaliadas contribuições individuais de cada insumo da argamassa. Estão expostos na Figura 3 o somatório dos impactos normalizados e cada material de acordo com a unidade de referência adotada para ACV (1m^2 de argamassa aplicada com 0,025 m de espessura). A partir disso, é evidenciado novamente que os aglomerantes geram mais impactos (93% total) mesmo constituindo 1/7 da massa total da mistura. Ao analisar a quantidade de material necessário para produzir 1 unidade de referência da argamassa e o impacto total dos insumos, percebe-se que a ADO possui uma proporção cerca de 60% de cimento da massa total de aglomerantes e mesmo assim o impacto da cal é considerável. Logo, estima-se, também com base nos resultados de caracterização da ACV da argamassa, que a cal gera mais impactos que o cimento.

Figura 3 – Impactos normalizados e consumo (kg/m^2) por insumo



FONTE: A autora (2022).

Todavia é preciso salientar que em termos globais, por exemplo, em 2018 foram produzidas aproximadamente 420 $x10^6$ t de cal no mundo, das quais 8,4 $x10^6$ t produzidas pelo Brasil, e 4,1 $x10^9$ t de cimento, dos quais 53 $x10^6$ t produzidos pelo Brasil[18]. Portando, embora a cal possua maiores índices de impacto ambiental, em consequência da quantia produzida anualmente, o cimento possui o desempenho ambiental mais danoso. Enfatiza-se ainda que os resultados obtidos para cal são referentes a uma cal hidratada sem distinção de classificação, tampouco da composição química do calcário que a gerou. A cal analisada na ACV é um material genérico com dados de médias de vários países, ou seja, que constam como "*Rest of the World*", devido à disponibilidade das bases de dados. No entanto, caso houvessem dados nacionais, como para os demais insumos, os resultados apresentariam alguma diferença do que foi obtido e a comparação entre os impactos dos aglomerantes seria fidedigna à dados reais.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que:

- na avaliação do ciclo de vida aplicada às argamassas a análise do impacto ambiental de cada insumo que às compõem é relevante e necessário para promover dosagens mais sustentáveis, principalmente promover o equilíbrio entre os insumos que possuem maior impacto e consumo na produção das argamassas;

- os resultados da ACV com abordagem do berço ao portão da argamassa confirmaram que os aglomerantes, cimento e cal, são os insumos que mais impactam. Identificou-se também que considerando mesmas proporções de cimento e cal, esta última apresenta maior impacto ambiental, variando entre 50% e 90% para cada categoria de impacto. No entanto cabe a ressalva de que a cal analisada da base de dados, diferentemente do cimento, não é proveniente de dados brasileiros o que pode ter tendenciado essa constatação.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Engenharia Civil PPGECC da Universidade Federal do Paraná (UFPR), e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná por viabilizarem esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JOHN, V. M. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. Capítulo 4. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON, v.1, 2017.

2. CHATHAM HOUSE. **Why cement is a major contributor to climate change**, 2018. Disponível em: https://www.chathamhouse.org/2018/06/why-cement-major-contributor-climate-change.

3. ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and building materials**, v. 23, n. 1, p. 28-39, 2009.

4. BUENO, C.; HAUSCHILD, M. Z.; ROSSIGNOLO, J. A.; OMETTO, A. R.; MENDES, N. C. Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2208-2220, 2016.

5. HEIJUNGS, R.; SUH, S. **The computational structure of life cycle assessment**. Dordrecht; London: Springer, 2011.

6. SALA, S. **Normalisation and weighting as applied in Environmental Footprint**. 72nd LCA Discussion Forum, Zurich, September, 2019.
Disponível em: < http://www.lcaforum.ch/portals/0/df72/DF72-03_Sala.pdf>.

7. JOHN, V. M., SJÖSTRÖM, C.; AGOPYAN, V. Durability in the built environment and sustainability in developing countries. **Building Research and Information**: Special issue on Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries, 2001.

8. IDEIES, **Análise de Competitividade do Setor das Indústrias de Argamassa do Estado do Espírito Santo**, 2018.

9. MARTINS, E. J. **Diretrizes para dosagem de argamassas de revestimento utilizando métodos de empacotamento de partículas e comportamento reológico**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

10. BRIBIÁN, Ignacio Zabalza; CAPILLA, Antonio Valero; USÓN, Alfonso Aranda. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and environment**, v. 46, n. 5, p. 1133-1140, 2010.

11. RUELLO, M. L.; AMATO, A.; BEOLCHINI, F.; MONOSI, S. Valorizing end-of-life LCD scraps after indium recovery. **Physica status solidi** (c), v. 13, n. 10-12, p. 1011-1016, 2016.

12. BRÁS, A.; FARIA, P. Effectiveness of mortars composition on the embodied carbon long-term impact. **Energy and Buildings**, v. 154, p. 523-528, 2017.

13. SILVESTRE, J. D.; CASTELO, A. M.; SILVA, J. J.; DE BRITO, J. M.; PINHEIRO, M. D. Energy retrofitting of a buildings' envelope: Assessment of the environmental, economic and energy (3E) performance of a cork-based thermal insulating rendering mortar. **Energies**, v. 13, n. 1, p. 143, 2019.

14. CALDAS, L. R.; CARVALHO, M. T. M.; TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação de estratégias para a mitigação dos impactos ambientais de revestimentos de argamassa no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 20, p. 343-362, 2020.

15. BATUECAS, E.; RAMÓN-ÁLVAREZ, I.; SÁNCHEZ-DELGADO, S.; TORRES- CARRASCO, M. Carbon footprint and water use of alkali-activated and hybrid cement mortars. **Journal of Cleaner Production**, v. 319, p. 128653, 2021.

16. PAIVA, R. D. L. M.; CALDAS, L. R.; MARTINS, A. P. S.; TOLEDO FILHO, R. D. Potentiality of earth-based mortar containing bamboo particles for GHG emissions reduction. **Construction and Building Materials**, v. 317, p. 125971, 2022.

17. PAIVA, R. D. L. M.; CALDAS, L. R.; MARTINS, A. P. D. S.; DE SOUSA, P. B.; DE OLIVEIRA, G. F.; TOLEDO FILHO, R. D. Thermal-Energy Analysis and Life Cycle GHG Emissions Assessments of Innovative Earth-Based Bamboo Plastering Mortars. **Sustainability**, v. 13, n. 18, p. 10429, 2021.

18. MME - Ministério de Minas E Energia. **Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos**, 2019.