



Análise dos impactos ambientais de blocos cerâmicos e de concreto por meio de Avaliação de Ciclo de Vida e Passaporte de Materiais auxiliados por BIM

Matheus Silva¹, Késsio Monteiro², Michele Carvalho³

¹ Universidade de Brasília-UnB, Brasília, Brasil, Matheus.engcv@outlook.com

² Universidade de Brasília-UnB, Brasília, Brasil, keng.kessio@gmail.com

³ Universidade de Brasília-UnB, Brasília, Brasil, micheletezeza@unb.br

Resumo: A indústria da construção é uma das principais responsáveis pelos impactos ambientais. O objetivo desse trabalho é avaliar os impactos ambientais e custos dos blocos cerâmicos e de concreto por metro quadrado, a partir ACV e PM, apoiada pelo BIM. A comparação dos blocos foi realizada no Simapro em quatro metodologias de cálculo, onde a densidade do material impacta nos resultados. Mesmo que o bloco cerâmico apresente indicadores mais expressivos, o seu peso é inferno quando comparado ao bloco de concreto, apontando baixo impacto. Além disso, os indicadores de PM, mesmo com poucos parâmetros, conferem significância na análise.

Palavras-chave: Avaliação de ciclo de vida, Passaporte de materiais, BIM, Simapro.

1. Introdução

Tem-se que a construção civil ainda se apresenta como um dos principais poluidores ambientais (UNSTATS, 2020). Ela é responsável por cerca de 36% das emissões globais de CO₂, sendo que a maior parte dessas emissões ocorre na fase de operação do ciclo de vida da edificação (MOUSA; LUO; MCCABE, 2016). As proporções de impactos ambientais não param por aí, pois as atividades de construção e demolição são responsáveis por 32% dos resíduos de aterros sanitários no Reino Unido (DEFRA, 2004), o setor responde por uma parte do consumo de energia elétrica no país, que em 2019 esse valor foi de 52% (EPE, 2020). Além disso, devido ao modelo linear de construção, que consiste em extrair os materiais, transformar, utilizar e descartar ao final da vida útil, o setor responde por 30% dos recursos naturais extraídos e 25% dos resíduos gerados no mundo (BENACHIO; FREITAS; TAVARES, 2020).

Desta forma, com a necessidade das mudanças, algumas alternativas para a aplicação de modelos de construção estão sendo pensados nos últimos anos, com soluções integradoras baseadas no desempenho sustentável (ILHAN, B; YOBAS, 2019). Alguns deles vêm sendo desenvolvidos desde as fases de projetos e aplicados até o fim da vida útil das edificações.

Com isso, um dos conceitos que vem ganhando destaque nos últimos anos e que englobam características de construções sustentáveis é a aplicação da Economia Circular (EC), que busca sair do modelo linear de construção e adotar um modelo fechado, que ao final da vida útil os materiais possam ser novamente inseridos na cadeia produtiva. Apesar de ir contra o modelo usual em alguns países, a EC já se provou eficiente na mitigação dos impactos ambientais nas indústrias de Arquitetura, Engenharia e Construção (ZHANG; HAN; DE VRIES, 2021).

Esse modelo se torna ainda mais interessante quando se tem ferramentas adequadas de planejamento e gestão, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que consiste em uma metodologia reconhecida para a redução dos impactos ambientais gerados na construção dos edifícios. A ACV foi proposta na série ISO 14000

para avaliar o consumo de energia e o desempenho ambiental do ciclo de vida de um produto (BORGHI; PANTINI; RIGAMONTI, 2018).

Apesar de apresentar uma maior eficiência ao ser aplicada durante as fases iniciais dos projetos, a ACV ainda apresenta algumas dificuldades de implementação, causada geralmente pela quantidade de incertezas relacionadas aos métodos. Uma das soluções para essa problemática consiste na aplicação da estratégia BIM (*Building Information Modeling*), que se apresenta como um aliado da ACV das edificações durante as fases iniciais, pois permite avaliar a gama de opções da construção através da modelagem virtual (RÖCK et al., 2018), oferecendo uma fonte para geração de dados, incluindo quantificação de material, devido às suas vantagens em visualizações, coordenação, simulação e otimização (CABEZA et al., 2014).

A estratégia pode ser utilizada para planejar todos os processos referente ao ciclo de vida de uma edificação, simular os impactos ambientais intrínsecos às construções e avaliar a variedade de materiais que poderão compor seus elementos (RÖCK et al., 2018). Para auxiliar na análise e otimização dos materiais de construção, pode-se aplicar o Passaporte de Materiais (PM), que permite a definição de um inventário de materiais incorporados ao modelo e a verificação de seus potenciais de impacto ambiental e possibilidade de reciclagem (HONIC; KOVACIC; RECHBERGER, 2019).

A técnica de PM auxilia na seleção e no uso de materiais de construção, ao permitir avaliar o seu potencial de sustentabilidade, desempenhando um papel importante no projeto e construção de edifícios (DING, 2014). A técnica auxilia na detecção do percentual de energia embutida nos materiais, que pode chegar a 38% da energia total utilizada pela edificação durante sua vida útil (GOULOUTI et al., 2020), sendo que os materiais mais representativos nesse percentual são cimento, brita, areia e produtos de concreto (MONAHAN; POWELL, 2011). Logo, a fase de concepção dos projetos de construção envolvendo uma análise de impacto ambiental e comparação dos materiais empregados é de grande importância, pois as repercussões ambientais podem ser bastante diferentes durante o seu ciclo de vida (ZAMBRANA-VASQUEZ et al., 2015).

Os conceitos de ACV e PM podem ser facilmente incorporados e simulados pela estratégia BIM, tornando a necessidade da implementação do BIM ainda mais relevante. Apesar de serem metodologias que migraram de outros setores para a construção civil, ao adotá-los em conjunto obter-se um modelo eficiente para definir caminhos mais sustentáveis para o setor.

1.2 Passaporte de materiais

Uma das técnicas que possibilitam a redução de impactos e do uso de matéria prima é o PM (HONIC; KOVACIC; RECHBERGER, 2019), pois essa técnica leva em consideração os materiais usados nos sistemas construtivos. Cada material de construção dispõe de uma vida útil distinta e propriedades específicas que podem variar em função da localização, clima e orientação (POMPONI; MONCASTER, 2017).

As características dos materiais empregados em um sistema construtivo podem ser concedidas nas fases de projeto, pois é nesse momento que as decisões de composição dos materiais é atendida (HONIC; KOVACIC; RECHBERGER, 2019). Esse tipo de avaliação é característico do PM, no qual dispõe de um inventário que avalia os impactos ambientais dos itens empregados nos sistemas construtivos. Essa metodologia integra eco-dados às ferramentas de modelagem digital, permitindo a avaliação simultânea de ACV.

1.3 Avaliação de ciclo de vida (ACV)

Para avaliar os impactos ambientais decorrentes das ações de construções, manutenções e demolições de edificações ao longo do ciclo de vida tem-se aplicado o método ACV (RÖCK et al., 2018). A ISO 14040 define ACV como a compilação de fluxos de entrada e saída e a avaliação de potenciais impactos ambientais

associados a um produto ou processo ao longo de seu ciclo de vida (PRYSHLAKIVSKY; SEARCY, 2013). A ACV possibilita analisar os fluxos de recursos e materiais e seus impactos ambientais ao longo do tempo de vida do produto, apresentando maior eficiência quando realizada na fase de planejamento (SRINIVASAN et al., 2014).

Essa metodologia tem sido amplamente aplicada para avaliar a sustentabilidade de edifícios em vários níveis, desde matérias primas até todo o projeto de construção (AGRAWAL; TIWARI, 2010), apresentando potencial para a melhoria dos processos industriais e no desenvolvimento de produtos e processos ambientalmente responsáveis (RÖCK et al., 2018).

A ACV leva em consideração 3 indicadores de avaliação de impacto ambiental: Potencial de Aquecimento Global (GWP); Potencial de Acidificação (PA); e Intensidade de Energia Primária (PEI) (IBO, 2019). Sua utilização representa uma novidade quando atrelada ao PM, pois fornece informações detalhadas sobre os aspectos qualitativos e quantitativos de composição do material, como a distribuição de massa dentro da edificação, a proporção de materiais recicláveis, resíduos e a quantidade total de GWP, PA e PEI provenientes dos materiais incorporados.

1.4 Building Information Modeling (BIM)

A utilização do BIM consiste em auxiliar o usuário na tomada de decisões mais complexas, principalmente no contexto da integração da ACV, por permitir a vinculação de uma grande quantidade de informação e dados ainda nas fases de projeto e planejamento. Desta forma, é possível desenvolver fluxos de trabalho ACV integrados ao BIM considerando os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida da edificação (CHONG; WANG; LEE, 2016).

A utilização do BIM ainda está limitada na extração de quantitativos para estabelecer o Inventário utilizado na ACV. Acontece que o nível da geometria e as informações necessárias para desenvolver uma ACV completa ainda consistem em uma problemática para a utilização da metodologia, uma vez que as informações não estão disponíveis para a estratégia e necessitam significativamente da sua inserção manual (DUPUIS et al., 2017).

Devido a disposição de informações vinculadas a metodologia BIM e as formas de avaliação de impacto ambiental pela metodologia ACV e PM, o objetivo deste trabalho é analisar os impactos ambientais e de custo de diferentes sistemas de vedação em uma edificação. A investigação realiza uma comparação de impacto ambiental e de custo empregado entre o metro quadrado de blocos cerâmicos e de concreto por análise de ACV e PM, a partir das informações quantitativas de material fornecidas do modelo BIM.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessário definir a edificação modelo, de modo que se pudesse realizar a modelagem da edificação utilizando a metodologia BIM no software *Revit*. A edificação modelada foi uma residência de um pavimento que apresenta cerca de 60m² de área construída, contendo uma sala de estar, cozinha, dormitório, banheiro e área de serviço. A Figura 1 apresenta a edificação em questão.



Figura 1 - Apresentação da edificação

A edificação modelada será analisada em relação a duas tipologias construtivas diferentes em relação aos sistemas de vedação vertical, sendo bloco de concreto e bloco cerâmico. Será levado em consideração para avaliação dos resultados apenas a área das alvenarias da envoltória e de divisão interna. As informações extraídas da modelagem BIM são a área ocupada pelo sistema de vedação e as respectivas dimensões dos blocos. A edificação modelo apresenta área total de alvenaria de 153,03m². Os blocos de possuem dimensões iguais de 9x19x39cm e apresentam peso unitário por bloco de 4,1kg, para o bloco cerâmico, e 9kg para o bloco de concreto.

As avaliações de ACV, assim como as de passaporte de materiais, foram realizadas por meio do *software Simapro 9.3.0 faculty* que dispõe de uma biblioteca vinculada a plataforma *ecoinvent 3*. O *software* é capaz de caracterizar os materiais em relação a seus níveis de impacto ambiental na fase de produção e transporte em relação a 1kg do item analisado, no qual apresentam diversas metodologias de avaliação de impacto que possuem diferentes fatores que as compõem. No entanto, a biblioteca apresentada pelo *Simapro* não contempla nos seus processos de materias o item bloco cerâmico, sendo o item que mais se aproxima, e que será usado nesse estudo, é o *Clay brick {RoW}| production | APOS, U*. Já para o bloco de concreto será usado o item disponível pelo *Simapro* denominado *Concrete block {RoW}| production | APOS, U*.

As avaliações realizadas no *Simapro* levaram em consideração quatro bases de cálculo, sendo *EDIP (2003)*, *ILCD (2011) midpoint+*, *BEES+* e *Cumulative Energy Demand (CED)*, nos quais serão utilizados para as aferições de ACV os parâmetros: Aquecimento global 100a; Toxicidade humana do ar; Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos; Toxicidade humana, efeitos cancerígenos; Poluentes atmosféricos dos critérios HH; Ecotoxicidade; Fumaça; Esgotamento de recursos naturais e Ingestão de água, seguindo orientações de (BRAGANÇA; MATEUS, 2006; DUPUIS et al., 2017). Para os parâmetros de PM, serão levandos em consideração os seguintes itens: Resíduos perigosos; Resíduos a granel; Acidificação e energia primária não renovável fóssil, conforme preconiza (HONIC; KOVACIC; RECHBERGER, 2019). As avaliações de comparação serão em relação a um metro quadrado de bloco e o custo atreladas aos sistemas terão como base os valores disponíveis pela Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA), que dispõe de valores referentes a aquisição e produção de um metro quadrado dos itens especificados. As bases de análise para ACV, PM e custos estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de análise de impacto

MÉTODO	CATEGORIA	UNIDADE
EDIP (2003)	Aquecimento global 100a	kg CO ₂ eq
	Toxicidade humana do ar	person
	Resíduos perigosos	kg
	Resíduos a granel	kg
ILCD (2011) midpoint+	Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos	CTUh
	Toxicidade humana, efeitos cancerígenos	CTUh
	Acidificação	molc H ⁺ eq
BEES+	Poluentes atmosféricos dos critérios HH	microDALYs
	Ecotoxicidade	g 2,4-D eq
	Fumaça	g Nox eq
	Esgotamento de recursos naturais	MJ surplus
	Ingestão de água	liters
cumulative energy demand	Não renovável, fóssil	MJ
SEINFRA	Custo	m ²

3. Resultados

O software *Simapro* dispõe dos resultados de impacto por quilo, sendo que cada parâmetro pode ser analisado por unidade de potencial de impacto (μPt), a primeiro momento as verificações quanto aos resultados serão feitas dessa forma. Temos que os parâmetros de aquecimento global e toxicidade humana são relevantes para a análise de ACV na metodologia EDIP 2003, pois apresentam valores significativos na análise gráfica, no qual os blocos cerâmicos apresentam maior impacto na avaliação em ambos os critérios, especialmente em relação ao parâmetro de toxidade, sendo duas vezes maior que os valores apresentados pelo bloco de concreto, como é demonstrado na Figura 2.

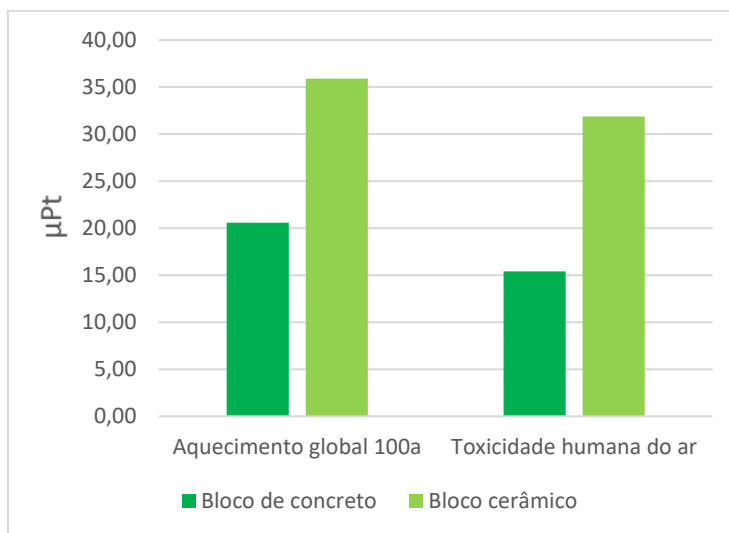


Figura 2 - Potencial de impacto ACV (EDIP 2003)

Avaliando os parâmetros referentes a toxicidade da metodologia ILCD 2011 apresentados pela Figura 3 é notório que a diferença entre os resultados apresentados pelos blocos não é tão expressivo como na Figura 2, sendo que os resultados referentes a toxicidade humana, efeitos não cancerígenos, não apresenta grande

representatividade na análise gráfica. Já para efeitos cancerígenos os blocos cerâmicos apresentam maiores valores, mesmo de forma pouca expressiva.

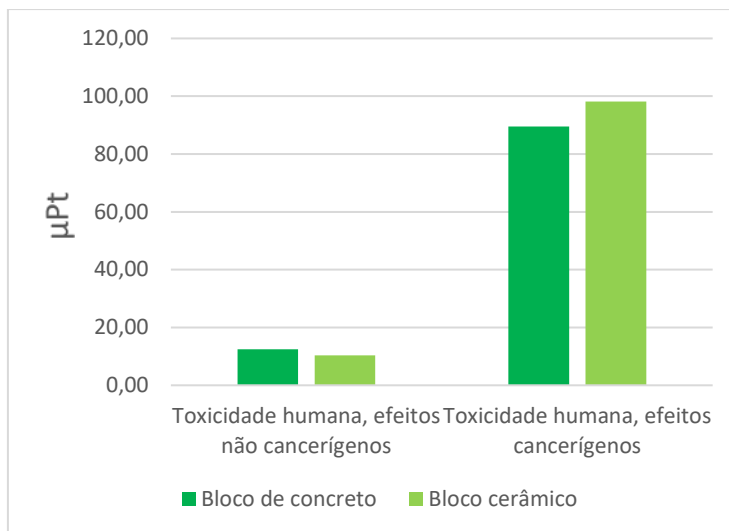


Figura 3 - Potencial de impacto ACV (ILCD 2011)

A metodologia de cálculo BEES+ teve cinco parâmetros analisados na avaliação de ACV, nos quais dois apresentam expressividade gráfica, sendo fumaça e esgotamento de recursos naturais. Para tais critérios o bloco cerâmico apresentou maiores valores de impacto ambiental, sendo que, para esgotamento de recursos, o bloco cerâmico apresenta potencial de impacto três vezes maior que o bloco de concreto, como demonstra a Figura 4. Já os outros três critérios temos baixa expressividade e alguns dos resultados entre os blocos apresentam grande semelhança, como é o caso de poluentes atmosféricos no critério HH e ecotoxicidade. Esses critérios não devem ser desprezados na análise, uma vez que os valores de ingestão de água foram quase três vezes maiores para os blocos de concreto em relação ao bloco cerâmico.

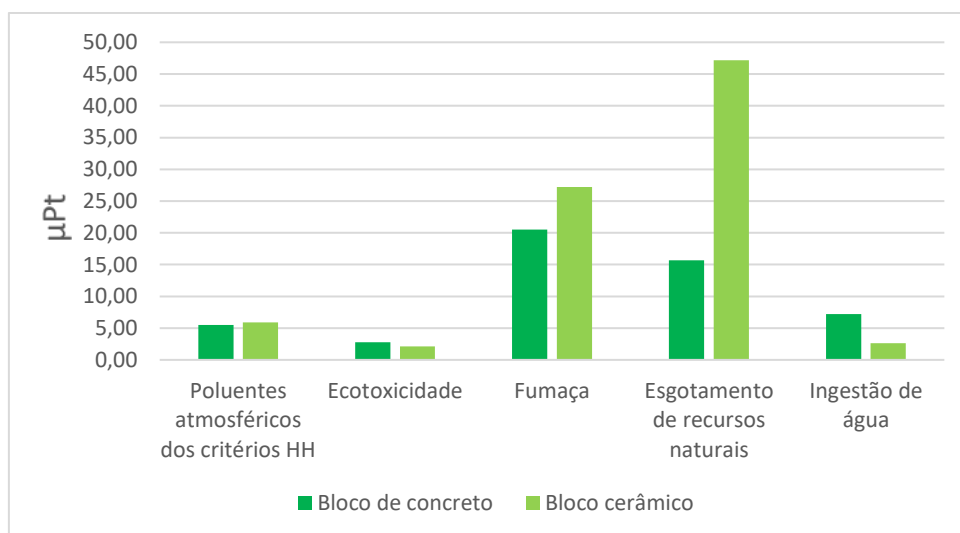


Figura 4 - Potencial de impacto ACV (BEES+)

Para as avaliações de passaporte de materiais pela metodologia de cálculo EDIP 2003 e ILCD 2011 é demonstrando que para o parâmetro de resíduos a granel, onde o bloco de concreto tem resultados

aproximadamente três vezes maiores que os de bloco cerâmico, há grande expressividade frente aos outros dois parâmetros. Os parâmetros de resíduos perigosos e acidificação apresentam irrelevância na avaliação gráfica, conforme é descrito na Figura 5a. Já para as análises de uso de energia primária não renovável pela metodologia CED, é apresentado unidade em megajoules (MJ), nos quais os blocos cerâmicos apresentam consumo de energia superiores ao dobro dos resultados de bloco de concreto, conforme demonstra a Figura 5b. Essa observação está de acordo com as demais análises gráficas que apresentam maiores valores quanto a toxicidade humana do ar e emissividade de fumaça para os blocos cerâmicos, demonstrando que esse item tende a ser mais agressivo à qualidade do ar na fase de produção.

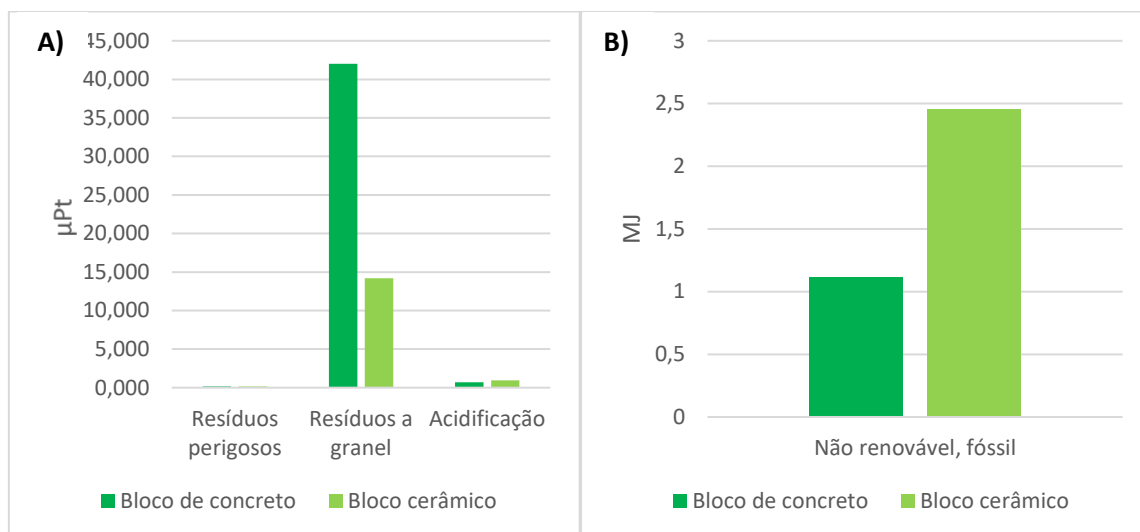


Figura 5 - a) Potencial de impacto PM, b) Energia primária não renovável PM

No entanto quando esses resultados são avaliados por metro quadrado construído a ordem dos resultados se inverte. Na análise por quilo de material produzido foi apresentado que o bloco cerâmico apresenta maior impacto, porém em um metro quadrado construído, onde existem em torno de 13,5 blocos, o bloco de concreto é aproximadamente duas vezes mais pesado que o bloco cerâmico, ou seja, todos os fatores até aqui analisados terão seus valores intensificados tanto para as análises de ACV como de PM como é demonstrando na Figura 6. Nessa avaliação os blocos de concreto apresentam maior impacto, invertendo o que foi visto anteriormente, porém os resultados entre os blocos são bastante semelhantes para o parâmetro de toxicidade humana do ar.

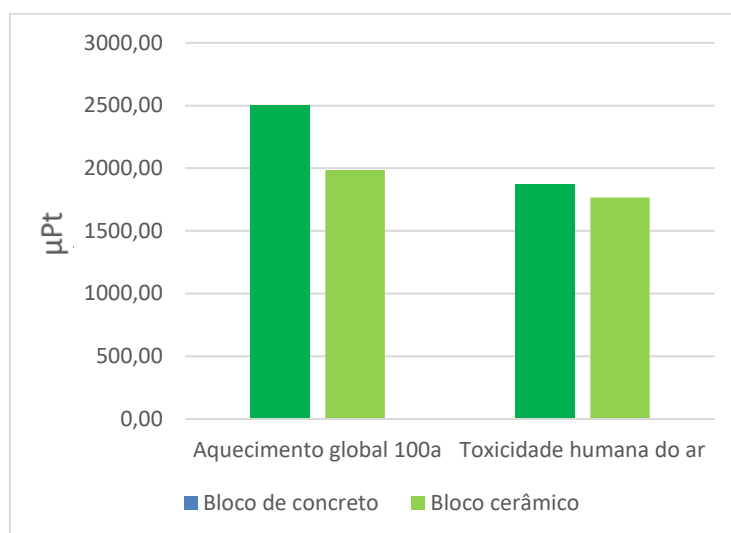


Figura 6 - Potencial de impacto (EDIP 2003) por m²

Tal similaridade não acontece quando o parâmetro de toxicidade humana, efeitos cancerígenos e não cancerígenos são analisados, pois os blocos de concreto apresentam o dobro dos valores quando comparado com o bloco cerâmico, demonstrando que ambos os critérios são relevantes para a análise, porém não possuem a mesma intensidade de impacto na análise gráfica. O discutido pode ser observado na Figura 7.

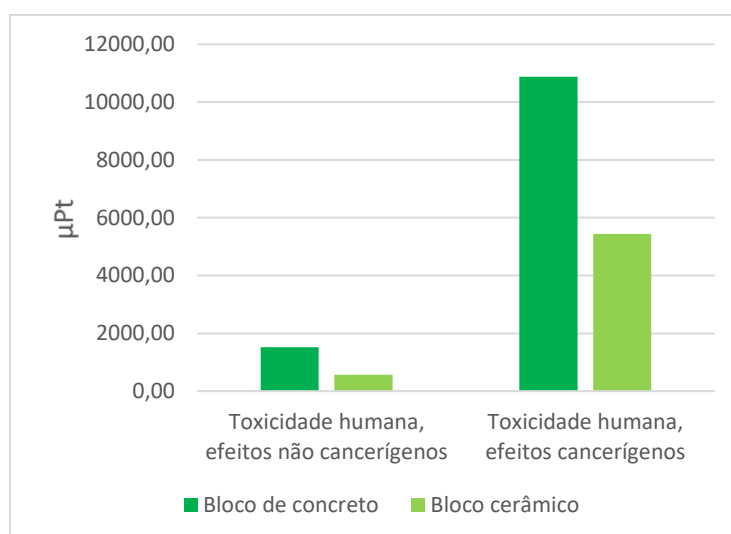


Figura 7 - Potencial de impacto (ILCD 2011) por m²

A última análise de ACV é descrita pela Figura 8. Tem-se mais uma vez o bloco de concreto liderando os maiores impactos, com destaque ao parâmetro de ingestão de água. Mesmo o bloco de concreto apresentando pouca expressividade gráfica para ingestão de água é demonstrando que os valores do bloco de concreto são seis vezes maior que do bloco cerâmico. Outra verificação aferida é que para os parâmetros de poluentes atmosféricos dos critérios HH e ecotoxicidade os blocos de concreto apresentam o dobro dos valores em relação ao bloco cerâmico. A única divergência que há em relação ao impacto do bloco de concreto é em relação ao parâmetro de esgotamento de recursos naturais, no qual o bloco cerâmico apresentou valores superiores de 37%. Em geral os critérios de impacto da metodologia BEES+ são os mais relevantes para a análise de ACV.

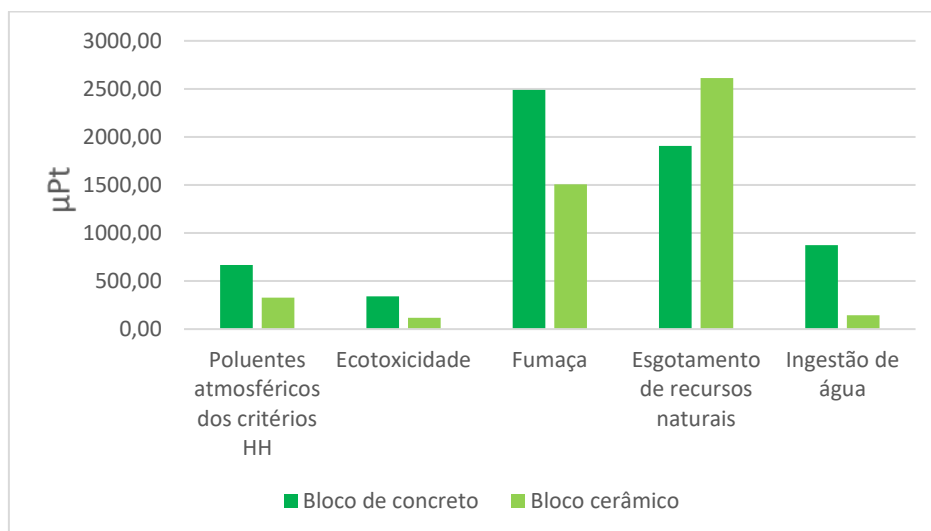


Figura 8 - Potencial de impacto (BEES+) por m²

Em relação aos critérios de passaporte de materiais a Figura 9a demonstra que, tanto os critérios de resíduos perigosos como o de acidificação apresentam baixa relevância na análise, porém o parâmetro de resíduo a granel exerce grande expressividade gráfica, no qual os valores apresentados pelo bloco de concreto são aproximadamente seis vezes maiores que os de bloco cerâmico. Já na Figura 9b, mesmo com uma diferença gráfica considerável a variação em MJ entre os blocos analisados é de 0,74 MJ. As análises de custo podem ser observadas na Figura 10, no qual os valores dos blocos de concreto são 46% maiores que os valores apresentados pelos blocos cerâmicos.

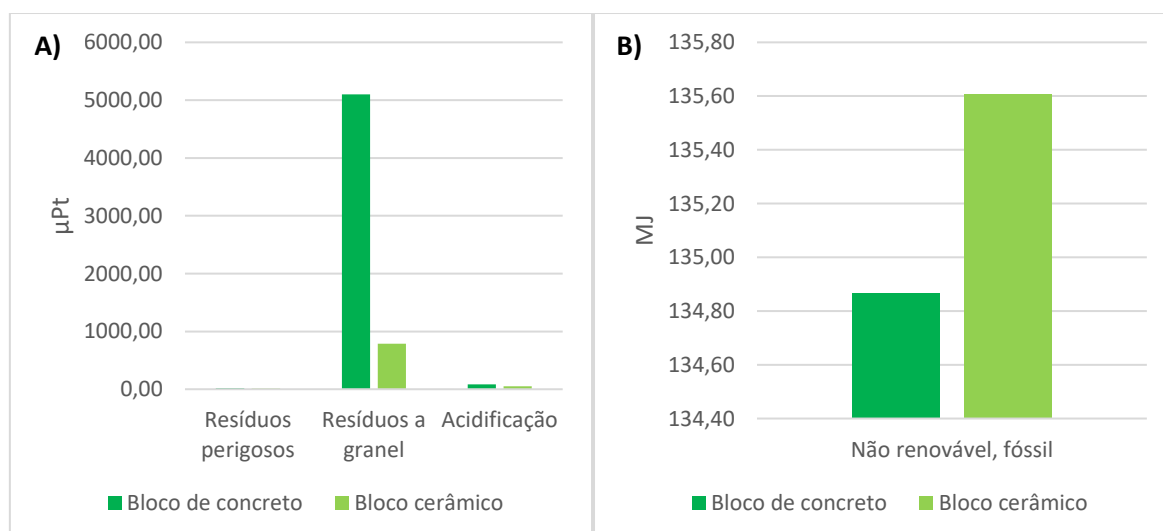


Figura 9 - a) Potencial de impacto (EDIP 2003 e ILCD 2011) por m² b) Energia primária (CED) por m²

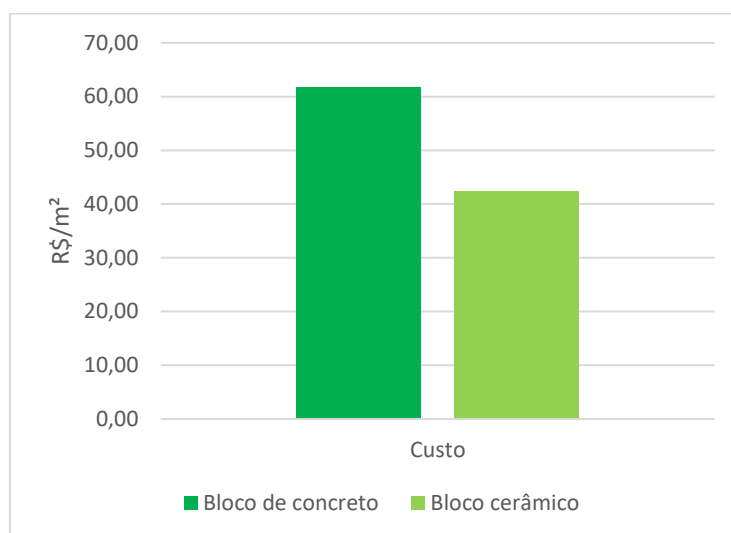


Figura 10 - Custo dos sistemas adotados por m²

Desse modo, tem-se que avaliação de ACV e PM para blocos de alvenaria, demonstrou que o metro quadrado de blocos cerâmicos apresenta menor impacto ambiental em relação ao bloco de concreto, resultados semelhantes foram observados por (SILVA; LIMA, 2021), que propõe que a utilização de blocos cerâmicos resulta em um impacto relativamente reduzido da alvenaria e um menor custo, quando comparado ao blocos de concreto. Logo, a avaliação de ecoeficiência dos blocos pode ser realizada pela junção de 4 indicadores de impacto ambiental, sendo eles: cumulative energy demand, EDIP, ILDC e BEES+, e os custos atribuídos a adoção do sistema. A avaliação pode ser realizada de forma mais precisa quando vinculada a modelagem BIM, que permite a verificação dos dados quantitativos de modo fácil e organizado ao alcance do avaliador.

4. Conclusão

Observando os resultados analisados é possível afirmar que o nível de informação necessária a ser extraída da metodologia BIM não é complexa, podendo auxiliar das avaliações de ecoeficiência de forma satisfatória, pois apenas a quantidade de área ocupada e quantidade de blocos aplicados são necessários para a análise.

O peso dos itens empregados apresenta importância significativa na avaliação, pois quando as análises de ACV e PM são realizadas levando em consideração apenas o quilo produzido, os blocos de concreto promovem maior eficiência, porém, quando avaliados em metro quadrado produzido, os blocos cerâmicos apresentam maior eficiência, demonstrando que o peso dos blocos é um determinante para a análise de ecoeficiência de materiais. Quanto aos resultados de ACV usando as bases de cálculo EDIP, ILDC e BEES+ temos que esse indicador pode ser descrito pelos parâmetros mais expressivos que são: aquecimento global 100a; toxicidade humana do ar; toxicidade do ar, efeitos cancerígenos, fumaça e esgotamento de recursos naturais.

Já para as análises de passaporte de materiais, no qual foram abordados quatro parâmetros, apenas o parâmetro de resíduos a granel foi expressivo na comparação gráfica, os demais não foram relevantes, fazendo com que seja necessários outros levantamentos bibliográficos que apontem diferentes critérios para a avaliação de PM. Mesmo com essa condição os blocos analisados dentro desse quesito apresentaram grande diferença, sendo um potencial indicador do critério de PM, porém deve ser acompanhado por outros fatores para uma melhor acuraria de resultados.

Em relação a comparativa, o grande gargalo dos resultados se dá por conta da diferença do peso entre os blocos, demonstrando que sistemas mais leves possuem, para o caso analisado, levam vantagem sobre os materiais mais pesados, mesmo possuindo dimensões quais e maior índice de impacto ambiental por quilo, ou seja, a densidade é um indicador relevante para em análises de ecoeficiência. Nos critérios analisados de ACV, PM e custos, os blocos de concreto apresentam valores superiores em todos os indicadores, demonstrando que se o mesmos fossem avaliados apenas em um desses indicadores poderia ser considerado como sem viabilidade. É possível observar que diferença mais expressiva se deu nos critérios de PM, demonstrando a relevância da inserção desse indicador para a avaliação de ecoeficiência dos materiais de sistemas de vedação vertical.

Referências

AGRAWAL, B.; TIWARI, G. N. Life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 9, p. 1472–1481, 2010.

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, M. DO C. D.; TAVARES, S. F. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121046, 2020.

BORGHI, G.; PANTINI, S.; RIGAMONTI, L. Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 815–825, 2018.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Sustentabilidade de soluções construtivas. **Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho**, 2006.

CABEZA, L. F. et al. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 394–416, 2014.

CHONG, H.-Y.; WANG, X.; LEE, C.-Y. Accepted Manuscript A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, n. c, p. 4114–4126, 2016.

DEFRA. **Environment statistics. Waste and Recycling available.**

DING, G. K. C. Eco-efficient construction and building materials. Life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies. In: **Woodhead Publishing**. [s.l: s.n.]. p. 38–58.

DUPUIS, M. et al. Method to Enable LCA Analysis through Each Level of Development of a BIM Model. **Procedia Engineering**, v. 196, n. June, p. 857–863, 2017.

EPE. Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética. 2020.

GOULOUTI, K. et al. Uncertainty of building elements' service lives in building LCA & LCC: What matters? **Building and Environment**, v. 183, n. March, 2020.

HONIC, M.; KOVACIC, I.; RECHBERGER, H. Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): An Austrian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 217, p. 787–797, 2019.

IBO. **Austrian Institute for Building and Ecology**. Disponível em: <<https://www.ibo.at/en/>>.

- ILHAN, B.; YOBAS, B. Measuring construction for social, economic, and environmental assessment. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, p. 746–765, 2019.
- MONAHAN, J.; POWELL, J. C. A comparison of the energy and carbon implications of new systems of energy provision in new build housing in the UK. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 290–298, 2011.
- MOUSA, M.; LUO, X.; MCCABE, B. Utilizing BIM and Carbon Estimating Methods for Meaningful Data Representation. **Procedia Engineering**, v. 145, p. 1242–1249, 2016.
- POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: A research framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 710–718, 2017.
- PRYSHLAKIVSKY, J.; SEARCY, C. Fifteen years of ISO 14040: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 57, p. 115–123, 2013.
- RÖCK, M. et al. LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. **Building and Environment**, v. 140, n. December 2017, p. 153–161, 2018.
- SILVA, B. T. R. V.; LIMA, M. G. DE. Proposta de integração entre BIM e ACV utilizando composições de serviço. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 12, 2021.
- SRINIVASAN, R. S. et al. Comparison of energy-based indicators used in life cycle assessment tools for buildings. **Building and Environment**, v. 79, p. 138–151, 2014.
- UNSTATS. **Greenhouse Gas Emissions by Sector (Absolute Values)**. Disponível em: <https://unstats.un.org/unsd/environment/air_greenhouse_emissions_by_sector.htm>.
- ZAMBRANA-VASQUEZ, D. et al. Environmental assessment of domestic solar hot water systems: A case study in residential and hotel buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 88, p. 29–42, 2015.
- ZHANG, N.; HAN, Q.; DE VRIES, B. Building circularity assessment in the architecture, engineering, and construction industry: A new framework. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 22, 2021.