XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8393

Avaliação dos impactos ambientais de diferentes configurações de envoltória em uma habitação de interesse social

Environmental impact assessment of different envelope configurations in social housing

Julia Beatriz Saugo Milani
UFSC | Florianópolis | Brasil | julia.milani@posgrad.ufsc.br
Ellen Casanova
UFSC | Florianópolis | Brasil | ellen.casanova@posgrad.ufsc.br
Isabella Cardoso Wolkart
UFSC | Florianópolis | Brasil | isabella.wolkart@posgrad.ufsc.br
Ana Paula Melo
UFSC | Florianópolis | Brasil | a.p.melo@ufsc.br

Resumo

Este estudo avaliou os impactos ambientais de diferentes configurações de envoltória em uma habitação de interesse social no Brasil, considerando emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida. Foram analisados cenários em três zonas bioclimáticas (1R, 2M e 6B), variando materiais de cobertura, paredes, absortância solar e sombreamento. O método combina simulação termoenergética no EnergyPlus para estimar o consumo de energia operacional e Avaliação do Ciclo de Vida no OpenLCA para determinar os impactos ambientais. Foram consideradas as etapas de pré-operação, operação e fim de vida da habitação. Os resultados indicam que sistemas leves, com steel frame e materiais de menor impacto, apresentam menores emissões e sistemas convencionais em alvenaria cerâmica e laje de concreto apresentam maiores emissões para todas as cidades avaliadas. Conclui-se que a escolha dos materiais influencia nas emissões, sendo a redução da absortância e o sombreamento estratégias mais eficazes em climas quentes.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida. Impacto ambiental. Habitação de interesse social.

Abstract

This study evaluated the environmental impacts of different envelope configurations in social housing in Brazil, considering greenhouse gas emissions throughout the life cycle. Scenarios were analyzed in three Brazilian bioclimatic zones (1R, 2M e 6B), varying roofing and wall materials, solar absorptance, and shading. The method combines building energy simulation in EnergyPlus to estimate operational energy consumption and Life Cycle Assessment in OpenLCA to determine environmental impacts. The pre-operation, operation, and end-of-life stages of the building were considered. Results indicate that lightweight systems, with steel frame and lower-impact materials, lead to lower emissions, while conventional systems with ceramic masonry and concrete slabs result in higher emissions across all analyzed cities. It is concluded that material selection significantly influences emissions, with reduced absorptance and shading being more effective strategies in hot climates.

Keywords: Social housing. Environmental impact. Life cycle assessment.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8393

INTRODUÇÃO

O Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) é a principal política pública de habitação no Brasil. A revisão de literatura feita pelo LabEEE [1] apresentada na Figura 1, resume os principais estudos e criação de portarias com diretrizes construtivas realizadas desde a criação do Plano Nacional de Habitação vigente, em 2008, até o ano de 2023.

Figura 1: Principais estudos e portarias com diretrizes construtivas para PMCMV.



Fonte: LabEEE [1].

Apesar da existência de diretrizes construtivas como as Portarias MDR nº 532 [2] e 526 [3], ainda é priorizado o baixo custo das edificações dos programas habitacionais em detrimento dos interesses e do conforto do usuário, evidenciando lacunas entre as práticas construtivas e as condições climáticas locais [4].

Segundo o IPCC [5], o aquecimento global deve se intensificar até 2040, com alta probabilidade de ultrapassar 1,5 °C, agravando o desconforto térmico em países quentes como o Brasil e ampliando riscos à habitabilidade e à saúde. Nesse contexto, torna-se necessário projetar habitações que mantenham condições térmicas adequadas mesmo diante de temperaturas mais elevadas e eventos extremos. Além disso, é importante considerar as emissões de carbono ao longo do ciclo de vida, priorizando materiais de menor impacto ambiental para reduzir a contribuição do setor da construção ao aquecimento global.

Para embasar propostas de aprimoramento térmico e ambiental, é indispensável avaliar os impactos associados a diferentes modelos construtivos. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite quantificar emissões, consumo de recursos e impactos ambientais e à saúde humana ao longo de todo o ciclo da edificação, desde a extração de matérias-primas até a disposição final dos resíduos [6].

Os impactos ambientais das edificações ao longo do ciclo de vida podem ser classificados em incorporados, associados à extração de matérias-primas, produção de materiais e à execução da construção, e operacionais, relacionados às emissões geradas durante a fase de uso. O ciclo de vida é organizado em três etapas principais: pré-operacional, que abrange a extração de matérias-primas, a produção, o transporte e a execução da obra; operacional, que inclui o consumo de energia, a manutenção e

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8393

as substituições; e pós-operacional, que contempla a demolição e a destinação de resíduos, além de informações adicionais associados à reciclagem (Figura 2) [7].

Figura 2: Módulos de informação e etapas do ciclo de vida de uma edificação.



Fonte: Adaptado de CEN [8].

Neste trabalho, foram seguidas as orientações metodológicas das normas brasileiras de ACV, NBR 14040 [9] e NBR 14044 [6], com o objetivo de avaliar o impacto ambiental com indicador de potencial de aquecimento global de diferentes materiais de envoltória aplicados a uma habitação unifamiliar de interesse social ao longo do ciclo de vida, em três zonas bioclimáticas brasileiras: 1R (Canela, RS), 2M (São Paulo, SP) e 6B (Petrolina, PE).

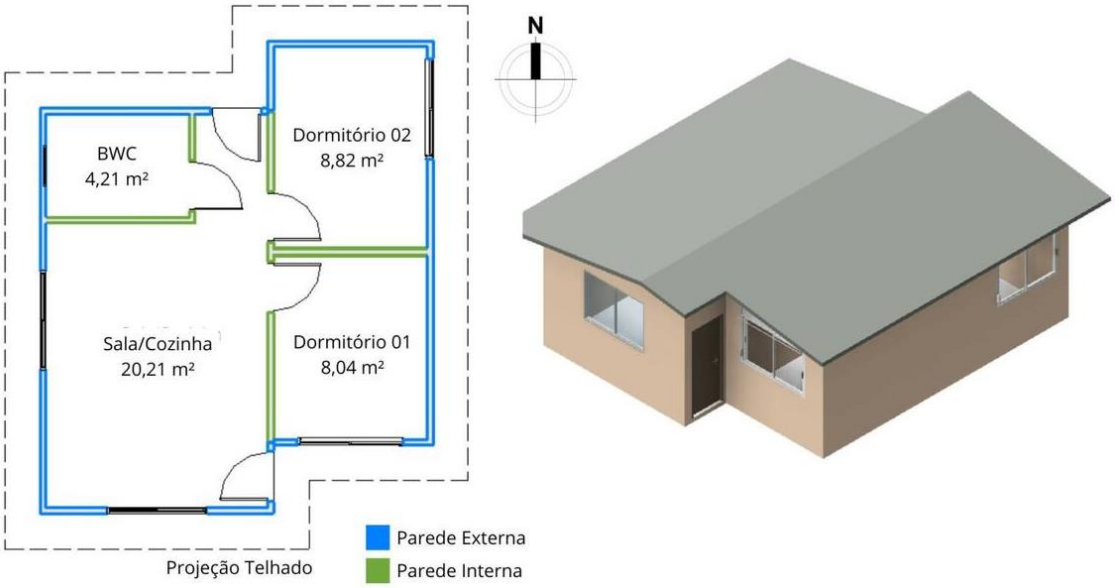
MÉTODO

Este trabalho é um estudo de caso de uma habitação de interesse social (HIS) desenvolvido em três etapas principais: (i) determinação dos impactos ambientais na pré-operação; (ii) avaliação durante a operação; e (iii) análise na fase de fim de vida. A habitação analisada baseia-se no modelo de Triana, Lamberts e Sassi [10], representativo de HIS unifamiliar no Brasil, com área interna útil de 40,48 m² (Figura 3). A habitação foi avaliada em três zonas bioclimáticas: 1R (Canela, RS), caracterizada por clima frio, com baixas temperaturas predominantes ao longo do ano; 2M (São Paulo, SP), com clima moderado, apresentando variações sazonais bem definidas; e 6B (Petrolina, PE), marcada por clima quente e seco, com altas temperaturas e baixa umidade.

A partir do projeto arquitetônico, estimou-se o consumo de energia durante a etapa de operação da edificação por meio do programa computacional EnergyPlus, versão 23.1.0 [11]. Após a determinação do consumo energético de cada cenário, avaliaram-se os impactos ambientais associados aos materiais da envoltória. O indicador adotado foi o potencial de aquecimento global (GWP), expresso em emissões de gases de efeito estufa (GEE) em $kgCO_2e$, calculado pelo método EN 15804 + A2 [12] no programa OpenLCA [13]. Sempre que disponíveis, foram utilizados dados provenientes de Declarações Ambientais de Produto (EPDs), complementados por dados da base Ecoinvent 3.8 [14].

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8393

Figura 3: Planta baixa da habitação estudada



Fonte: Triana, Lamberts e Sassi [10]

Os cenários avaliados foram definidos a partir de diferentes combinações de elementos construtivos convencionais da envoltória, incluindo coberturas, paredes externas e paredes internas. Os cenários foram identificados por meio de siglas específicas, apresentadas no Quadro 1.

Cada sigla foi definida a partir da seguinte estrutura: a primeira corresponde ao material da cobertura, a segunda à parede externa e a terceira à parede interna; em seguida, utiliza-se o termo aWall, acompanhado do valor de absortância solar da parede do cenário, e a indicação Shad ou NoShad, referente à presença ou à ausência de sombreamento. O termo Shad indica a existência de sombreamento proporcionado por um beiral de 70 cm, enquanto NoShad representa cenários sem sombreamento. Como exemplo, o cenário *Cer_Brick_Brick_Shad_aWall0.58* representa cobertura com telha cerâmica, paredes externas e internas em alvenaria, presença de sombreamento por beiral de 70 cm e absortância solar da parede igual a 0,58. Os cenários identificados com a abreviação Ref correspondem ao sistema de referência definido pela NBR 15575 [15].

Todos os elementos construtivos foram combinados, considerando cenários com e sem beiral e paredes externas com absortância solar de 0,40 e 0,58. Os cenários foram avaliados para as três zonas bioclimáticas consideradas neste estudo: Canela (RS), São Paulo (SP) e Petrolina (PE), totalizando 96 cenários.

Os impactos ambientais foram avaliados nas etapas de pré-operação (A1–A3), operação (B6) e fim de vida (C2–C4). Na pré-operação, consideraram-se a extração e produção de materiais a partir do inventário de cada cenário, elaborado com o modelo da edificação no programa Autodesk Revit e insumos baseados nas composições da Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi realizada no openLCA, utilizando EPDs brasileiras

e dados da base Ecoinvent 3.8, pelo método EN 15804 + A2, considerando o Potencial de Aquecimento Global (GWP) em kgCO_2e totais para a habitação.

Quadro 1: Descrição do elemento construtivo

Sistema construtivo	Sigla	Descrição do elemento construtivo
Cobertura	Ref	Telha de fibrocimento com absortância solar igual a 0,65 com forro de concreto armado de 10 cm de espessura.
	Cer	Telha cerâmica tipo francesa com absortância solar igual a 0,51 e forro de concreto armado de 10 cm de espessura.
	TopC	Telha de fibrocimento modelo Top Comfort (Brasilit), com absortância solar de 0,27, e forro em placas de gesso acartonado (Placo) de 12,5 mm com estrutura metálica.
Paredes externas	Ref	Parede de concreto armado de 10 cm de espessura.
	Brick	Parede de alvenaria de bloco cerâmico de 9 furos de 9 cm x 14 cm x 24 cm com reboco interno e externo de argamassa de 2,5 cm de espessura.
	Grx	Parede composta por placas de gesso acartonado de 12,5 mm, formadas por núcleo de gesso (sulfato de cálcio di-hidratado) com aditivos e revestimento em papel cartão, fixadas em estrutura steel frame com perfis metálicos de 90 mm × 2,5 mm × 0,8 mm espaçados a cada 60 cm na vertical, além de perfis horizontais e quadros estruturais para portas e janelas.
Paredes internas	Ref	Parede de concreto armado de 10 cm de espessura.
	Brick	Parede de alvenaria de bloco cerâmico de 9 furos 9cmx14cmx24cm com reboco interno e externo de argamassa de 2,5cm de espessura.
	PlacoDW	Parede de placas de gesso acartonado com 12,5 mm de espessura e perfis metálicos de estrutura posicionados a cada 60 cm na vertical e dois perfis na horizontal.

Fonte: as autoras.

Na etapa de operação (B6), o consumo de energia da edificação foi estimado seguindo as diretrizes da NBR 15575-1, considerando condicionamento de ar tipo *split* com Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal igual a 6,3. Foram usados dados climáticos TMY 2009–2023 de Petrolina, Canela e São Paulo [15]. Os impactos ambientais foram calculados multiplicando o consumo anual pelo fator de emissão da matriz elétrica brasileira (0,11 kgCO_2e/kWh) [16].

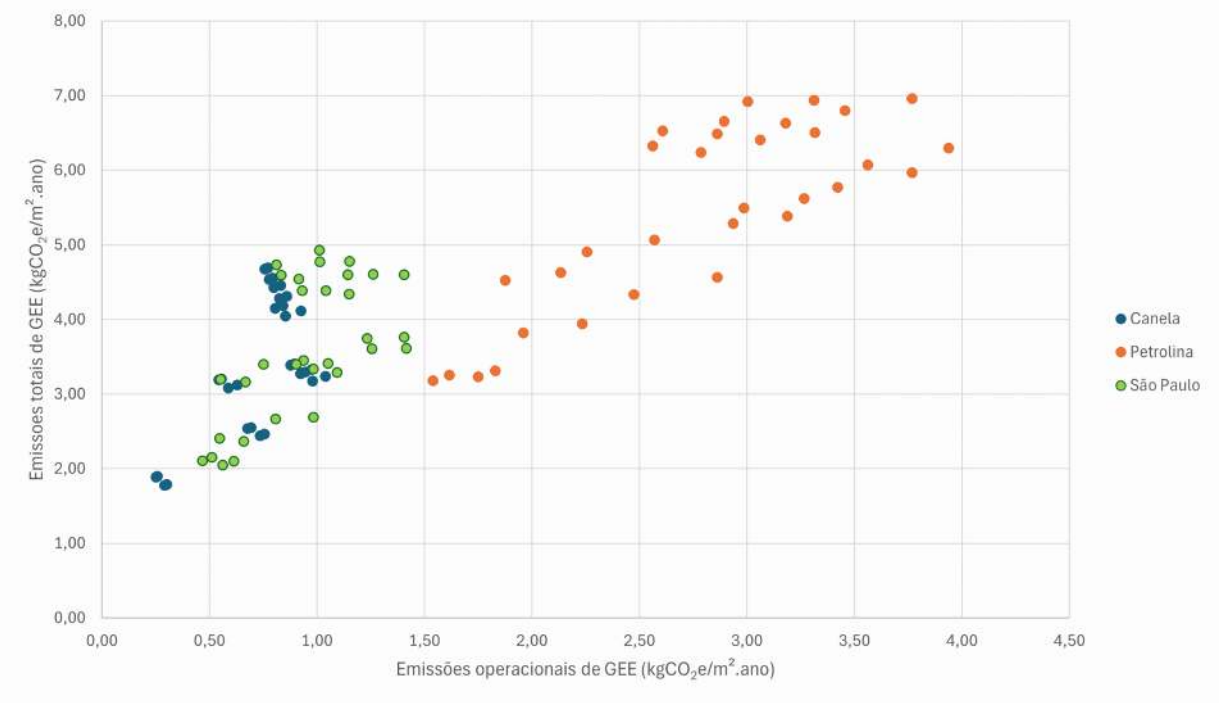
Na etapa de fim de vida (C2–C4), materiais sem EPD foram modelados pelo processo "*market for inert waste treatment – RoW*" da base Ecoinvent 3.6 [15], enquanto materiais com EPD utilizaram os dados específicos das respectivas declarações. Após a avaliação das emissões de CO_2e em todas as etapas do ciclo de vida, calculou-se o impacto ambiental total associado ao potencial de aquecimento global para cada cenário analisado por meio da soma das contribuições de todas as fases analisadas, considerando 50 anos de vida útil.

RESULTADOS

Os resultados mostraram diferenças nos impactos ambientais entre as cidades analisadas. A Figura 4 apresenta as emissões totais de GEE de cada cenário, durante a fase operacional, em cada cidade. Entre as cidades analisadas, verifica-se que Petrolina

apresenta os maiores valores de emissões, devido à maior demanda por climatização associada ao clima quente da região, o que resulta em maior consumo de energia na fase operacional. Em contraste, nas cidades de São Paulo e Canela, as condições climáticas mais amenas reduzem a necessidade de resfriamento ao longo do ano, embora em Canela haja maior demanda por aquecimento em determinados períodos. Dessa forma, as diferenças observadas entre as cidades estão diretamente relacionadas às variações no consumo de energia operacional para condicionamento térmico, que tende a ser mais elevado em climas mais quentes e, consequentemente, resulta em maiores emissões de GEE no módulo B6.

Figura 4: Emissões totais de GEE no ciclo de vida associadas às emissões operacionais de consumo de energia das cidades analisadas, em cada cenário avaliado.



Fonte: as autoras.

A Tabela 1 apresenta os valores de emissões de GEE associados aos cenários de melhor e de pior desempenho ambiental entre todos os cenários avaliados. Quando analisados os materiais da envoltória, observa-se que, em Canela, o melhor desempenho ambiental ocorreu no cenário TopC_GRX_LSF_NoShad_aWall0.4 (*steel frame* com placas de gesso acartonado e isolamento em lã de rocha, cobertura em telha de fibrocimento, absortância solar das paredes igual a 0,4 e ausência de sombreamento), com emissões de 2,01 $kgCO_2e/m^2$·ano. Em contraste, o pior desempenho na cidade foi identificado no cenário Cer_Brick_Brick_Shad_aWall0.58 (cobertura em telha cerâmica com forro em laje de concreto, paredes externas e internas em tijolo cerâmico com argamassa, absortância solar de 0,58 e presença de sombreamento), atingindo 4,69 $kgCO_2e/m^2$·ano.

Em São Paulo, o cenário de melhor desempenho também foi o TopC_GRX_LSF_NoShad_aWall0.4, com emissões de 2,28 $kgCO_2e/m^2$·ano, enquanto o pior desempenho, considerando todos os cenários avaliados, ocorreu igualmente no cenário Cer_Brick_Brick_Shad_aWall0.58, com valor de 4,93 $kgCO_2e/m^2$·ano.

Para Petrolina, o melhor desempenho foi observado no cenário TopC_GRX_LSF_Shad_aWall0.4, que apresenta a mesma base construtiva em *steel frame*, porém com sombreamento, resultando em emissões de 3,41 $kgCO_2e/m^2$·ano. Já o pior desempenho entre todos os cenários avaliados ocorreu no cenário Ref_Brick_Brick_NoShad_aWall0.58 (paredes em tijolo cerâmico e cobertura em laje de concreto, absortância solar de 0,58 e ausência de sombreamento), alcançando 6,96 $kgCO_2e/m^2$·ano.

Tabela 1: Emissões totais de GEE no ciclo de vida dos cenários de pior e melhor desempenho ambiental por cidade analisada

Cenário	Cidade	Emissões totais de GEE (kgCO2e/m².ano)
TopC_GRX_LSF_NoShad_aWall0.4	Canela	2,01
TopC_GRX_LSF_NoShad_aWall0.4	São Paulo	2,28
TopC_GRX_LSF_Shad_aWall0.4	Petrolina	3,41
Cer_Brick_Brick_Shad_aWall0.58	Canela	4,69
Cer_Brick_Brick_Shad_aWall0.58	São Paulo	4,93
Ref_Brick_Brick_NoShad_aWall0.58	Petrolina	6,96

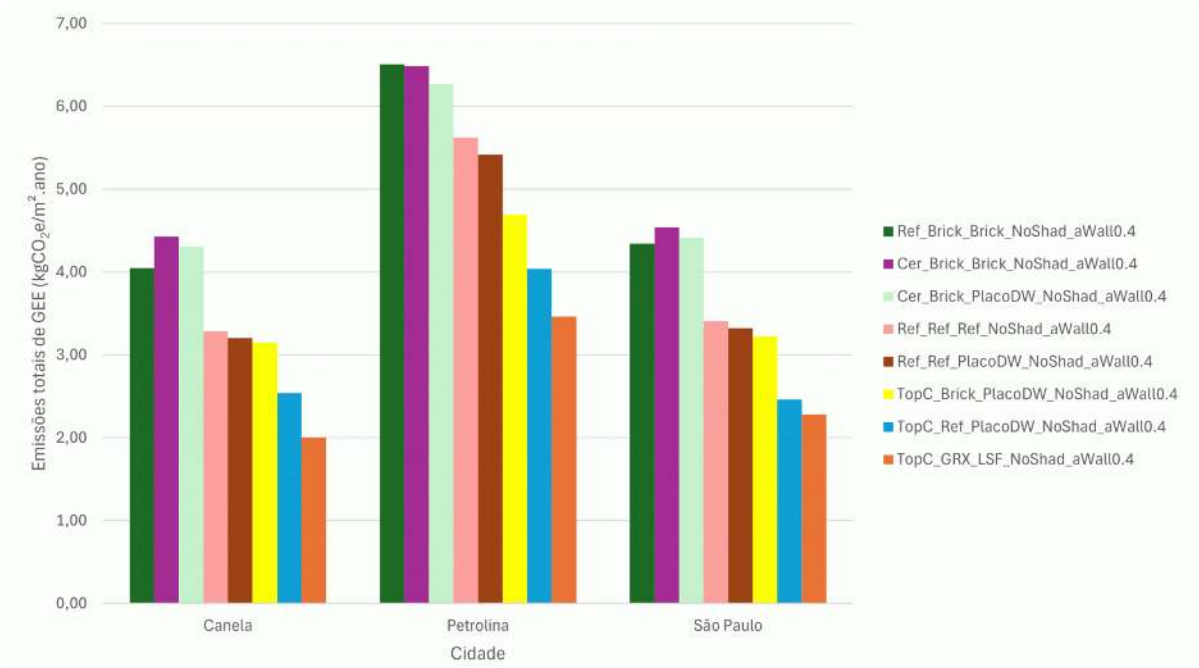
Fonte: as autoras.

A análise da variável sombreamento indicou que sua inclusão, de modo geral, não resultou em redução expressiva das emissões totais. Para as cidades de Canela e São Paulo, a adoção de dispositivos de sombreamento levou, inclusive, ao aumento das emissões totais (até 6%). Embora o sombreamento contribua para reduzir a carga térmica de refrigeração, esse benefício foi compensado pelo aumento das emissões decorrentes da produção dos materiais adicionais necessários para a sua implementação. Em contrapartida, na cidade de Petrolina, caracterizada por um clima mais quente, o sombreamento mostrou-se uma estratégia eficaz, resultando em menores emissões totais em comparação aos cenários sem sombreamento em todos os casos analisados (redução de até 3% das emissões totais).

A variável absortância solar superficial das paredes externas teve impacto relevante nas cargas térmicas da edificação, sendo esse efeito mais evidenciado em climas quentes, como o de Petrolina (redução dos impactos de GEE de até 16%). A redução da absortância solar contribuiu para a diminuição das demandas energéticas de resfriamento, o que se refletiu em menores emissões durante a fase de operação.

A Figura 5 apresenta a comparação entre os cenários analisados, considerando-se a absortância solar fixa em 0,4 e a ausência de sombreamento devido à quantidade elevada de cenários e à limitação de texto para mostrar todos os resultados encontrados. Observa-se que o cenário TopC_GRX_LSF apresenta os menores impactos totais de GEE em todas as cidades avaliadas. Em Canela, esse cenário resulta em reduções de 38,90% em relação ao cenário de referência e de 54,66% em relação ao cenário Cer_Brick_Brick. Para São Paulo, as reduções correspondem a 33,21% em relação ao cenário de referência e a 49,87% em relação ao cenário Cer_Brick_Brick. Em Petrolina, o cenário TopC_GRX_LSF apresenta uma redução de 38,40% em relação ao cenário de referência e de 46,77% em relação ao cenário Ref_Brick_Brick.

Figura 5: Emissões totais de GEE do ciclo de vida, considerando absortância solar da parede igual a 0,4 e ausência de sombreamento nas cidades analisadas, em cada cenário.



Fonte: as autoras.

De forma geral, o melhor desempenho dos sistemas leves, como o cenário TopC_GRX_LSF, está associado à menor quantidade de materiais, menores fatores de emissão e menor carga térmica anual, o que reduz a demanda por condicionamento de ar e as emissões ao longo do ciclo de vida. Em contraste, cenários com predominância de elementos cerâmicos e laje de concreto, como o Cer_Brick_Brick, apresentam maior massa, maior consumo de materiais e maior impacto incorporado, resultando em maiores emissões totais e maior consumo energético na operação.

CONCLUSÕES

O estudo avaliou as emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida de habitações de interesse social com diferentes configurações de envoltória, em três cidades brasileiras (Canela, São Paulo e Petrolina), considerando a produção dos materiais (A1–A3), o uso operacional para condicionamento de ar (B6) e o fim de vida (C2–C4). Menores emissões ocorreram em cenários com sistemas construtivos leves, enquanto cenários convencionais, em alvenaria cerâmica e coberturas cerâmicas ou de referência, apresentaram maiores emissões.

As condições climáticas influenciaram a distribuição das emissões: em Petrolina, o impacto operacional teve maior contribuição devido à alta demanda de resfriamento, enquanto em Canela e São Paulo o impacto associado à produção dos materiais (A1–A3) foi mais significativo. Reduzir a absortância solar das paredes externas e aplicar sombreamento reduziu as emissões operacionais, especialmente em Petrolina.

De forma geral, os resultados mostram que a escolha dos sistemas construtivos e das propriedades térmicas da envoltória influencia significativamente as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida. Soluções mais leves e estratégias que reduzem cargas

térmicas apresentam maior potencial de mitigação, reforçando a importância de integrar desempenho térmico e impacto ambiental nas etapas iniciais de projeto para habitações de interesse social com menor impacto climático.

Como limitação do estudo, destaca-se que não foi realizada a adaptação da matriz energética dos materiais genéricos para a matriz energética brasileira nas etapas de produção (A1–A3) e de fim de vida (C2–C4), sendo utilizados os dados genéricos da Ecoinvent no programa openLCA, o que pode influenciar a precisão das emissões estimadas para os cenários analisados.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio financeiro concedido à pesquisa. Agradecem também à Saint-Gobain Brasil pelo apoio e pela contribuição para o desenvolvimento deste estudo.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, todos os autores utilizaram a ferramenta ChatGPT versão GPT-5.5 para a tradução, revisão e melhoria de coesão do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Revisão de literatura sobre eficiência energética e conforto ambiental nas habitações de interesse social no Brasil.** Florianópolis, 2023. Relatório interno. Disponível em: https://hablabeee.ufsc.br/static/resultados/relatorios/HB-RL-01-2023-01.pdf. Acesso em: 16 de abril de 2026.

[2] BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Portaria nº 526, de 23 de fevereiro de 2022. Dispõe sobre as condições gerais para a aquisição subsidiada de imóveis em áreas urbanas, com recursos do Fundo de Arrendamento Residencial, no âmbito do Programa Casa Verde e Amarela.** Brasília, 2022.

[3] BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Portaria nº 532, de 23 de fevereiro de 2022. Dispõe sobre os requisitos técnicos, urbanísticos e socioterritoriais e sobre os seguros obrigatórios para empreendimento habitacional no âmbito do Programa Casa Verde e Amarela.** Brasília, 2022.

[4] BAVARESCO, M. V.; CUCHIVAGUE, H. Y. O.; SCHINAZI, A.; GHISI, E. Aspectos impactantes no desempenho energético de habitações de interesse social brasileiras: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 89–106, 2021. DOI: 10.1590/s1678-86212021000100505.

[5] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers.** Geneva, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf. Acesso em: 12 de março de 2026.

[6] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:2009: Gestão ambiental – Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 21 p.

[7] TAVARES, S. F. G. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

[8] CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15643:2021 – Sustainability of construction works — Framework for assessment of buildings — Part 1: General principles**. Bruxelas, 2021.

[9] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 21 p.

[10] TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P.. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy policy**, v. 87, p. 524-541, 2015.

[11] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus: whole building energy simulation program. Versão 24.1.0**. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, 2024b. Disponível em: https://energyplus.net.

[12] CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15804:2012+A2:2019 - Sustainability of construction works — Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products.** Bruxelas: CEN, 2019.

[13] GREENDELTA. **openLCA 1.11: *software* para análise do ciclo de vida**. Berlin: GreenDelta, 2024. Disponível em: https://www.openlca.org. Acesso em: 29 jan. 2025.

[14] ECOINVENT CENTRE. E**coinvent data v2.0: life cycle inventory database**. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007.

[15] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro, 2024.

[16] LAWRIE, L. K.; CRAWLEY, D. B. **Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx).** Climate.OneBuilding.org, 2022. Disponível em: \climatewebsite\WMO_Region_3_South_America\BRA_Brazil. Acesso em: 9 mar. 2026.

[17] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer.** Paris: IEA, 2025. Disponível em: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer. Acesso em: 24 fev. 2026.