

ANÁLISE COMPARATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ENTRE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE ALVENARIA E PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL PARA UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO RIO DE JANEIRO

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS AMONG DIFFERENT MASONRY AND CAST-IN-PLACE CONCRETE WALL ALTERNATIVES FOR SOCIAL HOUSING IN RIO DE JANEIRO

Bárbara dos Santos Rezende¹; Carolina Mendonça de Freitas Mendes de Souza²; Lucas Rosse Caldas³.

¹Arquiteta e Urbanista | barbara.rezende@coc.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil; ²Arquiteta e Urbanista | carolina.souza@coc.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil; ³Doutor | lucas.caldas@fau.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo:

A construção de edifícios é responsável por 37% da energia operacional global e 21% das emissões globais de gases do efeito estufa. No Brasil, o setor é impulsionado principalmente pelo Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), que, atualmente, faz parte do eixo Cidades Sustentáveis e Resilientes, demonstrando a preocupação de se renovar para seguir na linha eco-consciente. Este estudo buscou através da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) estabelecer comparações entre os sistemas construtivos mais utilizados atualmente nas Habitações de Interesse Social (HIS), parede estrutural maciça de concreto moldada *in loco* e o de estrutura em concreto com vedação em blocos cerâmicos, com uma construção não convencional: o bloco de terra comprimida (BTC). Buscou-se avaliar os potenciais impactos ambientais de cada um desses insumos e demonstrar alternativas mais ecológicas e novas oportunidades de materiais construtivos a serem empregados. O sistema de concreto resultou no maior impacto ambiental na construção, enquanto o BTC mostrou-se uma alternativa viável e menos agressiva ao meio ambiente.

Palavras-chave:

Avaliação do Ciclo de Vida; Minha Casa Minha Vida; Bloco de Terra Comprimida; Construção com terra; Impactos ambientais;

Abstract:

Building construction is responsible for 37% of global operational energy and 21% of global greenhouse gas emissions. In Brazil, the sector is mainly driven by the Minha Casa Minha Vida Program (MCMV), which is currently part of the Sustainable and Resilient Cities axis, demonstrating the concern to renew itself to follow the eco-conscious line. This study sought, through the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, to establish comparisons among the construction systems most currently used in Social Housing (SH), a structural wall built from concrete cast in situ and a concrete structure placed in ceramic blocks, with an unconventional construction: the compressed earth block (CEB). This study aimed to assess the potential environmental impacts of each of these inputs and to demonstrate more ecological alternatives and new opportunities for construction materials to be employed. The concrete system resulted in the highest environmental impact in construction, whereas CEB proved to be a viable and less environmentally aggressive alternative.

Keywords:

Life Cycle Assessment; My House My Life; Compressed Earth Block; Earth construction; Environmental impacts;

1. INTRODUÇÃO

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas à construção civil aumentaram cerca 9,8 GtCO₂ em 2022 (IEA, 2023). Somente a construção de edifícios é responsável por 37% da energia operacional global e 21% das emissões globais de gases do efeito estufa (CO₂) (UNEP, 2024). No entanto, o setor no Brasil tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos, crescendo 4,1% suas atividades no ano de 2024 (Vasconcelos, 2024). Este crescimento tem como destaque o aumento de obras residenciais.

O Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) foi fundado em 2009 com o intuito de facilitar a possibilidade de aquisição da moradia própria para a população de baixa renda. Segundo o próprio governo, a meta é que até 2026 sejam contratadas 2 milhões de novas moradias pelo programa. Atualmente o MCMV integra o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) que faz parte do eixo Cidades Sustentáveis e Resilientes, demonstrando a preocupação de se renovar para seguir na linha da consciência ambiental (Brasil, 2023). Ao pensar nas edificações do programa MCMV, é possível perceber a existência de um padrão de projeto e de construção que adota a mesma tipologia e mesmo sistema construtivo em localidades diversas do território nacional, desconsiderando as características bioclimáticas de cada região e a materialidade empregada no edifício, principalmente no que diz respeito aos sistemas de vedação (Caldas, Lira e Sposto, 2017; Moreno, Morais e Souza, 2017).

No Rio de Janeiro, que está localizado na zona bioclimática (ZB) 8, esse processo de padronização não foi diferente. É possível perceber que nos sistemas construtivos utilizados, aproximadamente 80% das edificações multifamiliares são compostas por paredes maciças de concreto moldadas *in loco*, e os 20% restante da produção está dividida entre a utilização de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e de concreto e alvenaria de vedação com tijolos cerâmicos (Vasquez, 2017). As paredes maciças de concreto moldadas *in loco* têm um desempenho térmico insatisfatório, principalmente para climas da ZB8, devido à sua elevada transmitância térmica (Caldas, Lira e Sposto, 2017).

O Bloco de Terra Comprimida (BTC) é um material não-convencional, fabricado com terra (solo) adensada em molde por compactação ou prensagem, seguido do desmolde imediato (Neves *et al.*, 2011). Dentre suas vantagens, em relação aos materiais convencionais, a energia necessária para preparar, transportar e manusear a terra no local de construção é significativamente menor, representando apenas 1% da energia necessária para os mesmos processos com blocos cerâmicos ou concreto, ademais a terra não processada (não cozida) pode ser reciclada inúmeras vezes por um longo período (Minke, 2006).

Blengini (2019) afirma que “a seleção dos materiais, a concepção dos elementos e a escolha das técnicas de construção podem reduzir significativamente os encargos ambientais que podem ser atribuídos a eles”. Buscando tornar essa escolha mais assertiva, é possível aplicar a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para estudar os materiais empregados na construção, a fim de mensurar os possíveis impactos ambientais causados como resultado da fabricação e utilização do material em questão. No entanto, há poucos estudos na área de HIS que detalham os impactos do ambiente nas unidades habitacionais ou que apresentam oportunidades de melhorias voltadas à qualidade de vida dos moradores e envolvendo ACV, o foco está em avaliações pós-ocupação (Muianga e Kowaltowski, 2024).

Neste sentido, o presente artigo busca através do uso da ACV estabelecer comparações entre os sistemas construtivos mais utilizados atualmente nas Habitações de Interesse Social (HIS) com um tipo de construção não convencional: o BTC, a fim de demonstrar alguns dos impactos ambientais que esses três sistemas ocasionam e a partir da comparação avaliar qual teria melhor resultado. Para isso, foi escolhida uma HIS aplicada hipoteticamente na cidade do Rio de Janeiro, para o estudo de caso. O estudo poderá contribuir para a escolha dos materiais no MCMV de forma a pensar na redução dos impactos ambientais e melhora da qualidade das habitações do programa.

1. MÉTODO

Inicialmente foi realizada a caracterização dos sistemas a serem trabalhados a partir de uma pesquisa bibliográfica para cada um dos três tipos de materiais escolhidos, na qual foram pontuadas questões na produção do material, transporte e execução da obra para a realização da metodologia da ACV e aplicadas as suas quatro etapas, segundo as normas ISO 14040 e ISO 14044 (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b): (1) definição do objetivo e escopo, (2) análise do Inventário do Ciclo de Vida, (3) análise do Impacto do Ciclo de Vida e (4) interpretação, além da análise de sensibilidade relacionada ao transporte do solo, podendo assim concluir qual sistema construtivo gera menos impacto ambiental e que melhor corresponda às características climáticas locais.

1.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS

Foram avaliados os sistemas de concreto maciço moldado *in loco*, estrutura em concreto com alvenaria de vedação em blocos cerâmicos e com vedação em BTC. Cada sistema foi destrinchado em seus elementos principais para que fossem analisados os impactos de cada um. Não foi considerada neste estudo a água por não ter grande impacto ambiental dentre as categorias escolhidas.

Para especificar a dosagem dos materiais do concreto, bloco cerâmico e da argamassa, utilizou-se a base de dados do Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (Sidac) (Belizario-Silva *et al.*, 2023) escolhendo o “concreto dosado em central fck 25MPa” com especificação, para 1 m³, do “cimento CII-E” tanto para a alvenaria estrutural em concreto quanto para a estrutura nos outros dois sistemas. Para o bloco cerâmico adotou-se o “bloco cerâmico - VED15 (09 x 19 x 19cm)” e a argamassa foi a “dosada em obra 1:2:8” com especificação da “cal hidratada CH-III” e “cimento CII-F”.

As informações relacionadas ao BTC e à argamassa de assentamento utilizada foram adotadas conforme o estudo de Carvalho, Alberto e Silvos (2023), sendo escolhida a composição do “M-B-1 - Bloco Solo: Cal Hidratada III” (12,5 x 25 x 6,25cm) (Carvalho, Alberto e Silvos, 2023) e argamassa de solo cimento. O bloco em si é composto por solo, areia e cal hidratada CH-III e a composição da argamassa consiste em solo, areia e cimento.

1.2. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

O objetivo estabelecido pelo estudo consiste na (1) aplicação e realização de um estudo comparativo de ACV para cada um dos sistemas convencionais mais utilizados no MCMV comparando com o BTC, a fim de (2) avaliar o potencial impacto ambiental de cada um desses materiais e, a partir disso, (3) demonstrar alternativas mais ecológicas e novas oportunidades de materiais construtivos empregados no Programa Habitacional Brasileiro.

O escopo considerado se enquadra como “do berço ao portão com opções” (Caldas, Lira e Spoto, 2017), avaliando as seguintes etapas, de acordo com a EN 15978 (CEN, 2011): (A1) extração dos insumos básicos (solo, cimento, areia, brita, etc.), (A2) transporte dos insumos, (A3) processamento e (A4) transporte até o canteiro de obras. A figura 1 representa as fronteiras dos três sistemas abordados.

Foi utilizado um projeto de habitação unifamiliar para o MCMV como estudo de caso e a unidade funcional escolhida foi a casa inteira, considerando as paredes, sua infraestrutura e a superestrutura, e ao final tendo os resultados divididos pela metragem quadrada da área construída. A figura 2 apresenta a planta da habitação unifamiliar escolhida.

Considerou-se a implantação da construção na cidade do Rio de Janeiro como parâmetro para os cálculos das distâncias dos insumos até o canteiro de obras e para contextualizar as características climáticas da zona bioclimática (ZB) 8, entendendo se a aplicação do material com menos impacto também se relaciona com o clima predominante.

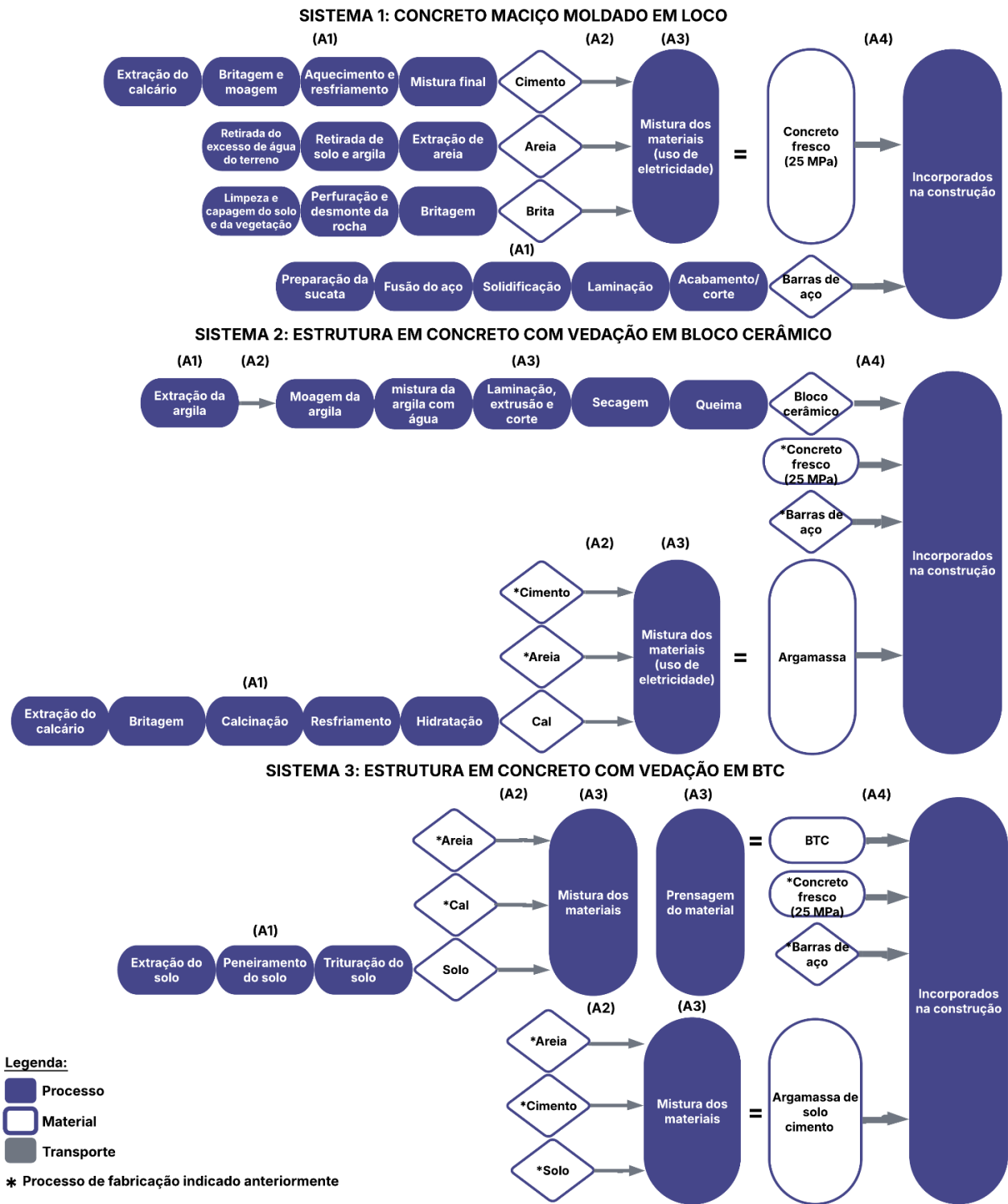


Figura 1: Fronteira dos três sistemas avaliados.
Fonte: os autores (2025).

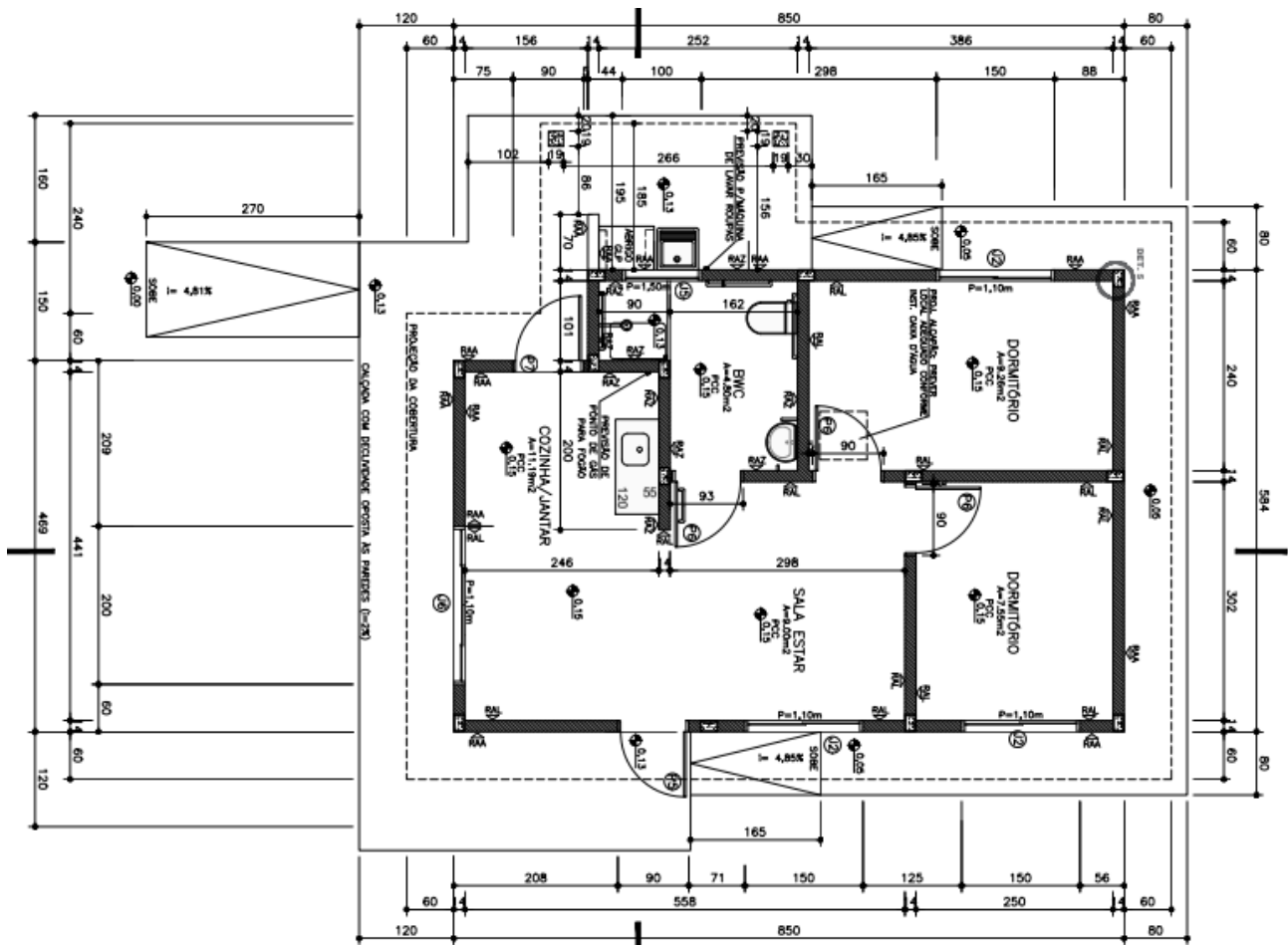


Figura 2: Planta baixa da HIS como estudo de caso.
Fonte: DVAU (2017).

1.3. INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

Realizou-se o cálculo para cada elemento dos três sistemas, quantificado quanto de cada insumo seria necessário no estudo de caso. O concreto, argamassa e bloco cerâmico tiveram como base a dosagem inicial para 1 m³ e unidade respectivamente, dada pelo Sidac, fazendo a proporção com a quantidade em m³ dos materiais na construção do estudo de caso. Para o BTC essa proporção foi adotada conforme apresentado por Carvalho, Alberto e Silvos (2023), que demonstraram quanto de material seria necessário para 1 m² de vedação em BTC. No estudo de caso há o total de 126 m² a serem utilizados os BTCs. Os dados para o inventário do ciclo de vida foram extraídos do *Ecoinvent* versão 3.6 sendo possível atrelar as quantidades encontradas de cada insumo aos fatores de impacto.

A partir de uma busca por fábricas que forneçam os materiais estudados, foram estipuladas as distâncias até o canteiro de obras. Adotou-se para o cimento a distância de 262 km, para a areia e brita 99,2 km, para a cal 699 km, barras de aço 140,8 km e bloco cerâmico 96,2 km, todos contando ida e volta. Essas distâncias foram multiplicadas pela quantidade de cada material em tonelada. O transporte do solo não foi considerado inicialmente, pois foi sugerido o uso do existente no canteiro.

1.4. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV)

O método de modelagem da AICV foi o EN 15804:2012+A2:2019 disponível no software SimaPro, levando em consideração os fatores de impacto (Tabela 1): Mudança Climática - Fóssil e Uso da Terra - (*Climate change - Fossil and Land use/LU change*), Destruição da Camada de Ozônio (*Ozone depletion*), Toxicidade Humana Não Cancerígena (*Human toxicity, non-cancer*) e Uso da Terra (*Land use*).

As quantidades aplicadas de cada material no estudo de caso foram multiplicadas pelos fatores de impacto escolhidos, sendo possível destacar quais insumos seriam os mais prejudiciais dentro de cada categoria de impacto e em cada um dos três sistemas.

1.5. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Inicialmente o estudo foi realizado considerando o uso do solo extraído do próprio canteiro de obras no sistema construtivo com vedação em BTC. No intuito de investigar se a análise dos impactos sofreria alteração, foi feita uma análise de sensibilidade especificando que o solo viria de outro local, adotando a distância máxima de 50 km, ida e volta (Caldas e Toledo, 2021).

2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que as barras de aço se destacaram negativamente nos impactos relativos às mudanças climáticas e toxicidade humana não cancerígena, chegando a corresponder, no sistema de parede estrutural de concreto, cerca de 64% na primeira categoria e aproximadamente 84% na segunda. Isto se deve a alta demanda de energia para a produção de vergalhões de aço, pela queima de combustíveis fósseis e às emissões de partículas finas (PM2.5) liberadas durante este processo de produção, que causam problemas respiratórios, sendo responsável por 7% das emissões globais de CO₂ (Instituto Aço Brasil, 2020; Souza *et al.*, 2016;). A figura 3 apresenta o quanto cada insumo corresponde aos impactos causados pelos sistemas.

Quando analisada a destruição da camada de ozônio o destaque está nos transportes rodoviários, responsáveis entre 33% a 38% do impacto ocasionado, considerando os três sistemas. Em 2023 o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética em sua maior parte foi gerada no setor de transportes (EPE e MME, 2024). Apesar dos caminhões representarem pequena parte dos deslocamentos diários urbanos, grande parte das emissões de gases poluentes na atmosfera como o carbono, nitrogênio e enxofre são decorrentes da queima de diesel ou outros combustíveis que ocorre no seu uso (Arduin *et al.*, 2022; Carvalho, 2011) e isso pode justificar o destaque na categoria.

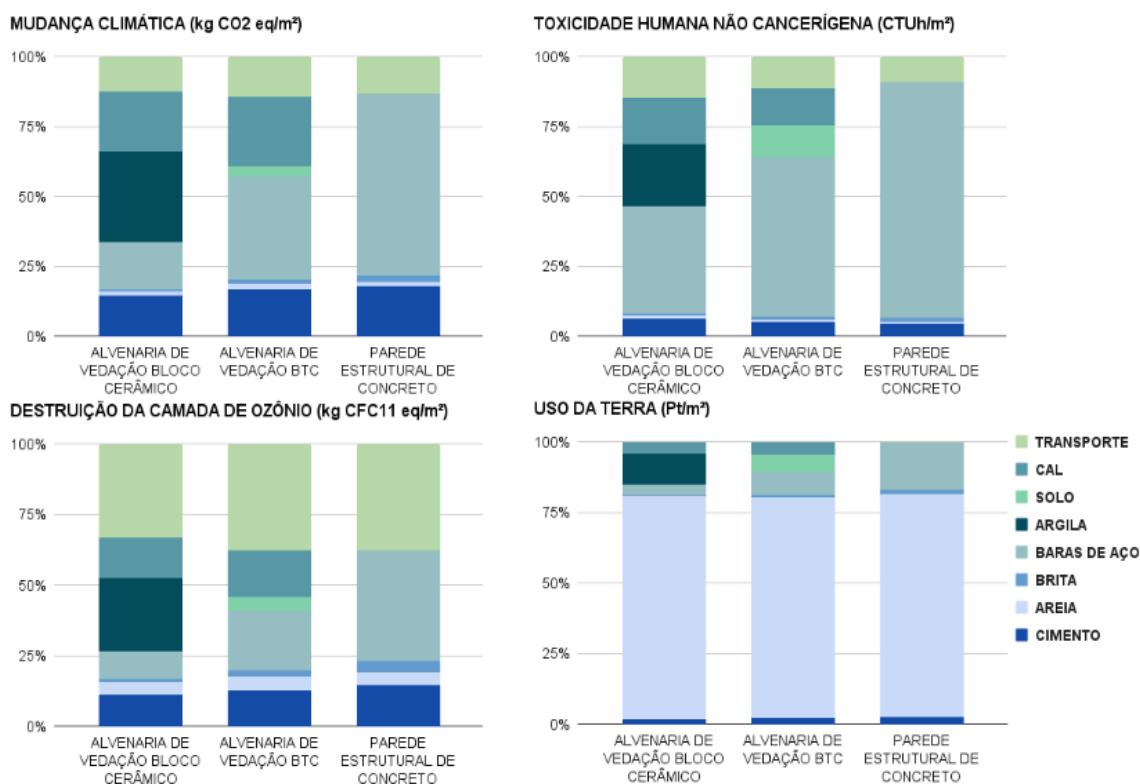


Figura 3: Avaliação do impacto do ciclo de vida dos materiais em cada um dos sistemas construtivos. Fonte: os autores (2025).

Comparando os resultados do transporte com a análise de sensibilidade realizada, percebeu-se que a diferença dentro das categorias de impacto não foi de grande relevância, a maior alteração encontrada foi na destruição da camada de ozônio na qual a porcentagem relativa ao transporte subiu de 37,5% para 42,8%.

O cimento também teve destaque nas categorias de mudanças climáticas e destruição da camada de ozônio, representando até 17,9% na primeira e 14,6% na segunda. Isso se explica pela produção de cimento envolver energia térmica, usada para aquecer fornos na fabricação do clínquer, demonstrando que a maior parte do consumo energético vem da queima de combustíveis para gerar calor (Visedo e Pecchio, 2019).

A brita e a areia não se destacaram tanto na maioria das categorias de impacto, exceto na de uso da terra, na qual a areia correspondeu aproximadamente 78% do impacto. Isso ocorre porque a produção da areia é significativamente agressiva ao meio ambiente. Na extração do material, o processo de retirada da cobertura vegetal, além de modificar a paisagem, diminui a estabilidade do solo e causa erosão, impermeabilizando e reduzindo a fertilidade do solo (Nogueira, 2016).

A argila foi um insumo que também se destacou negativamente dentro do sistema de alvenaria de vedação bloco cerâmico, principalmente nas categorias de mudança climática e destruição da camada de ozônio, correspondendo a cerca de 32% e 26% dos impactos, respectivamente. Em grande parte, a emissão acontece por conta do processo de queima para a fabricação dos blocos com o uso de combustíveis fósseis (Souza *et al.*, 2016). Caldas e Toledo (2021) relatam que as fontes energéticas principais disponíveis no banco de dados do *Ecoinvent* são o gás natural e o óleo diesel, porém há alternativas menos agressivas ao meio ambiente. No Brasil, por exemplo, cerca de 89% da geração elétrica é atribuída às fontes renováveis (EPE e MME, 2024). A diferença no uso escolhido das fontes energéticas é de grande relevância para os níveis de impactos dos blocos cerâmicos, sendo que o uso de combustíveis fósseis, em grande parte, resulta no aumento destes impactos ambientais (Caldas e Toledo, 2021).

A cal destacou-se dentro da categoria de mudança climática com 21,4% no primeiro sistema e 24,8% no segundo. O impacto causado pela cal provém da reação química causada pelo processo de calcinação, que ocorre em fornos a até 1.000°C, resultando na produção de cal (CaO) e liberação de CO₂. A produção da cal pode ainda emitir gases como óxidos de enxofre, de nitrogênio e grande quantidade de material particulado, causando poluição atmosférica e problemas respiratórios (Souza, 2012).

Considerando o pior cenário, em que o solo é transportado ao invés de extraído do local da obra, foi constatado através da ACV que o sistema construtivo ideal para ser adotado visando somente à redução dos impactos (considerados neste estudo) ao meio ambiente e população, seria a alvenaria de vedação com BTC. A figura 4 demonstra o comparativo entre os três sistemas em cada categoria de impacto, sendo possível perceber que o valor do impacto do BTC é consideravelmente menor em relação aos outros dois.

O sistema de concreto possui maior impacto ambiental na construção, considerando o estudo realizado. Isso se explica devido ao seu alto consumo de materiais e à grande demanda energética em sua produção. Ademais, os insumos usados no sistema também apresentaram maior distância até o canteiro de obra, o que aumenta o índice de impacto do transporte. A grande quantidade de barras de aço usadas também justifica o grande impacto ambiental, uma vez que através da ACV foi identificado ser um dos elementos que mais causa impactos negativos.

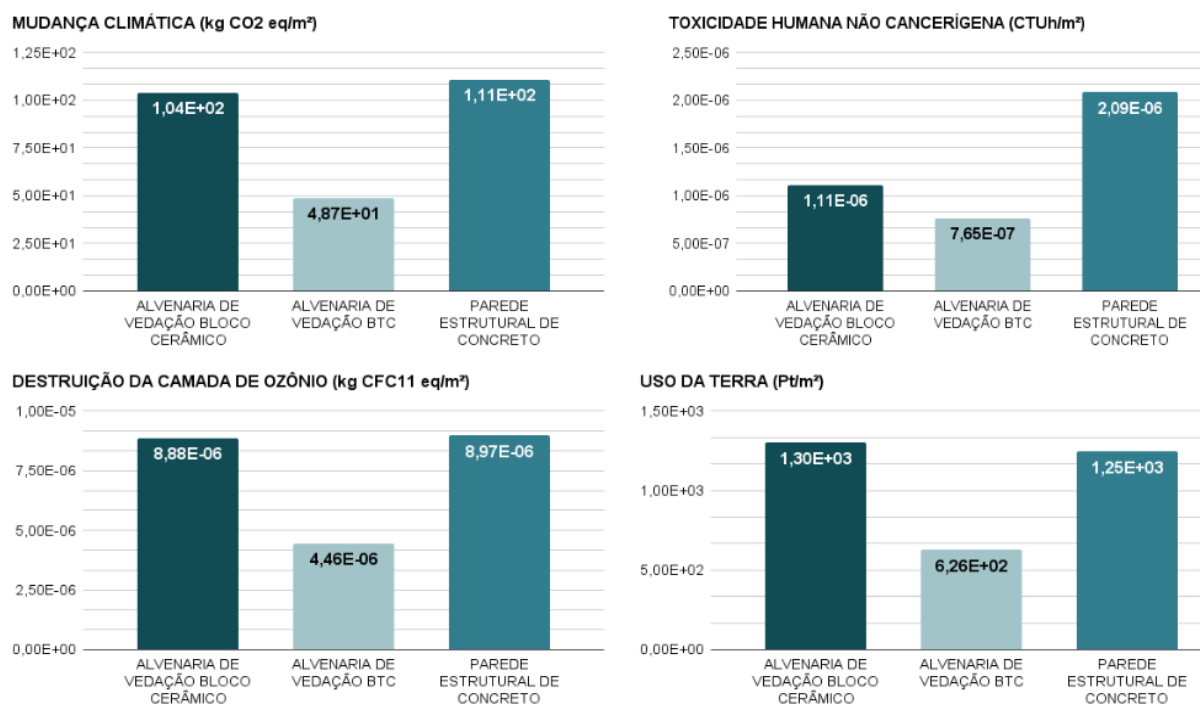


Figura 4: Comparação entre os sistemas construtivos nas categorias de impacto.

Fonte: os autores (2025).

O BTC desponta como o material menos poluente neste estudo, visto que apresenta baixo impacto ambiental. Isso acontece porque a produção de BTC não requer queima, o que reduz a emissão de gases poluentes e por ter um processo de produção manual (Fernandes *et al.*, 2019). Além disso, o BTC utiliza a terra como matéria-prima, um recurso de baixo custo e frequentemente disponível no local da obra. Ainda assim, a extração da terra, o transporte dos materiais e a construção podem ocasionar impactos ambientais, porém é possível mitigar de forma simples esses danos ao adotar a mineração de superfície, otimizar o uso de transportes para reduzir os gases poluentes, como extrair a terra mais próxima possível do local da construção, e ainda adotar a reciclagem do material após o fim da sua vida útil (Silva *et al.*, 2019). Utilizar na construção material escavado durante as fundações, como a terra escavada de grandes obras urbanas, representa uma grande otimização do uso do recurso e economia em comparação com os materiais convencionais (Minke, 2006).

A cidade do Rio de Janeiro sofre com desconforto térmico por calor 63% do ano com até 80% no verão (MME, 2024). O BTC pode possibilitar um equilíbrio da temperatura interna e apresentar eficácia em climas quentes ou frios, secos ou úmidos, podendo contribuir para manter a temperatura interna do ambiente estável, reduzindo a necessidade de resfriamento artificial, e proporcionando uma economia de energia durante a fase de operação do edifício (Houben e Guillaud, 2006; Minke, 2006).

2. CONCLUSÕES

A análise comparativa realizada neste estudo para HIS no Rio de Janeiro revelou que o BTC é a opção mais sustentável, relacionada ao eixo ambiental, dentre os materiais avaliados, principalmente por não requerer queima e utilizar materiais abundantes e de baixo custo, considerando os quatro impactos avaliados: Mudança Climática - Fóssil e Uso da Terra, Destruição da Camada de Ozônio, Toxicidade Humana Não Cancerígena e Uso da Terra. A possibilidade de utilizar o solo local reduz ainda mais os impactos associados ao transporte de materiais. Além disso, o BTC oferece benefícios sociais, como a geração de empregos locais e a valorização de técnicas construtivas tradicionais, impactos sociais positivos que merecem um estudo de ACV específico para esse tema.

Os sistemas construtivos convencionais, como o concreto moldado *in loco* e a alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, demonstraram ter altos impactos ambientais, principalmente devido às elevadas emissões de gases poluentes durante a queima na produção de cimento, cal, aço e argila. Recomenda-se o uso de dados específicos para o território nacional, como o Sidac, usado aqui apenas como base proporcional. O uso do Ecoinvent no inventário pode acarretar divergências quando comparado a dados locais. Embora seja uma base de dados amplamente aceita, algumas informações não refletem o cenário brasileiro, para a vedação em bloco cerâmico por exemplo, a diferença entre o que é encontrado como fonte de energia na base do Ecoinvent e o comum adotado no Brasil, interfere no resultado, uma vez que o processo de queima, onde há o maior gasto de energia, é o principal gerador de emissões para os blocos cerâmicos.

A análise de sensibilidade, que considerou o transporte do solo de outras localidades, confirmou que o BTC mantém sua vantagem ambiental mesmo com essa variável. Isso reforça sua viabilidade como uma solução sustentável para o programa MCMV, especialmente em regiões como o Rio de Janeiro, onde as condições climáticas exigem materiais com bom desempenho térmico. Portanto, a adoção do BTC em projetos de HIS, visando não apenas a redução dos impactos ambientais, mas também a promoção de um desenvolvimento urbano mais sustentável e inclusivo, é sugerida. No entanto, é essencial avaliar se as vantagens se mantêm até o fim da sua vida útil. Sendo um material não convencional à base de terra, ele pode sofrer desgaste por sol ou umidade excessiva, afetando sua durabilidade e exigindo manutenção, impermeabilização ou revestimentos adicionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009**: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:2009**: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

ARDUIN, D., CALDAS, L.R., PAIVA, R.D.L.M., ROCHA, F. Life Cycle Assessment (LCA) in earth construction: a systematic literature review considering five construction techniques. **Sustainability**, v. 14, oct. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su142013228>. Acesso em: 12 maio 2024.

BELIZARIO-SILVA, F., OLIVEIRA, L. S., REIS, D. C., PATO, G. T. G., MARINHO, A. C., DEGANI, C. M., CALDAS, L. R., PUNHAGUI, K. R. G., PACCA, S. A., JOHN, V. M. The Sidac system: Streamlining the assessment of the embodied energy and CO2 of Brazilian construction products. **Journal of Cleaner Production**, v. 421, n. 138461, oct. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138461>. Acesso em: 9 jun. 2024.

BLENGINI, G. A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy. **Building and Environment**, v. 44, n. 2, p. 319-330, feb. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.007>. Acesso em: 12 maio 2024.

BRASIL. **Conheça o Programa Minha Casa Minha Vida**. Brasília/DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/noticias-1/conheca-o-programa-minha-casa-minha-vida>. Acesso em: 12 abr. 2024.

CALDAS, L. R., LIRA, J. S. de M. M., SPOSTO, R. M. Avaliação do Ciclo de Vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. **Revista Latino-americana em Avaliação do Ciclo e Vida**, Brasília, v. 1, n. 1, p.138-167, dez. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3823>. Acesso em: 12 maio 2024.

CALDAS, L. R., TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação ambiental do sistema construtivo de alvenaria de blocos de solocimento considerando diferentes especificações de projeto. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v. 16, n. 2, mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i2.161978>. Acesso em: 12 maio 2024.

CARVALHO, B. T., ALBERTO, E., SILVOSO, M. M. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de sistemas de alvenaria de blocos de solo-cimento com diferentes dosagens. **Encontro Latino Americano e Europeu Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, abr. 2023, v. 4, p. 250–265. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2518>. Acesso em: 13 abr. 2024.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. **Boletim regional, urbano e ambiental - IPEA**, p. 123-139, jun. 2011. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5574>. Acesso em: 10 fev. 2025.

CEN. EN 15978:2011 **Sustainability of construction works** - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. International Standard. [S.l.: s.n.], 2011

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

FERNANDES, J., PEIXOTO, M., MATEUS, R., GERVÁSIO, H. Life cycle analysis of environmental impacts of earthen materials in the Portuguese context: Rammed earth and compressed earth blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118286, dec. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118286>. Acesso em: 6 jun. 2024.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Traité de Construction en Terre**. 3a. ed. Marseille: Editions Parenthèses, 2006. 360 p.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2023**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. Acesso em: 20 fev 2025.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário Estatístico 2020**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2020. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/>. Acesso em: 06 jun 2024.

MINKE, G. **Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture**. Basel: Birkhäuser, 2006. 240 p.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **ProjeteEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes: estratégias bioclimáticas**. Brasília/DF. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteeee/estrategias-bioclimaticas/>. Acesso em: 27 dez. 2024.

MORENO, A. C. R., MORAIS, I. S., SOUZA, R. V. G. Thermal performance of social housing– a study based on brazilian regulations. **Energy Procedia**, v. 111, p. 111-120, mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.013>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MUIANGA, E. A. D., KOWALTOWSKI, D. C. C. K. A panorama of Brazilian social housing research: scope, gaps and intersections. **Ambiente Construído**, v. 24, dez. 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212024000100710>. Acesso em: 13 jul. 2025.

NEVES, C., FARIA, O. B. (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, São Paulo: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em: <https://www.redeproterra.org>. Acesso em: 17 fev. 2025.

NOGUEIRA, G. **A Extração de Areia em Cursos D'Água e Seus Impactos**: Proposição de uma Matriz de Interação. 2017, 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

SILVA, L. M. V. D., JUNIOR, L. C. T. D. H., NETO, J. F. D. S., GONZAGA, G. B. M. Aplicação do bloco de terra comprimida na construção sustentável. **SEMPESq - Semana De Pesquisa Da Unit - Alagoas**, n. 7, 2020. Disponível em: https://eventos.set.edu.br/al_sempesq/article/view/12192. Acesso em: 13 fev. 2024.

SOUZA, C. **Avaliação da sustentabilidade de uma empresa de mineração e calcinação no centro oeste de Minas Gerais**: estudo de caso. Mestrado profissional. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. UFSC. 2012.

SOUZA, D. M., LAFONTAINE M., CHARRON-DOUCET, F., CHAPPERT, B., KICAK, K., DUARTE, F., LIMA, L. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast in-place reinforced concrete exterior walls. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, n. 20, p. 70-82, nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.069>. Acesso em: 12 maio 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Status Report for Buildings and Construction** - Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. Nairobi: UNEP, 2024. 99p. Disponível em: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>. Acesso em: 20 fev. 2025.

VASCONCELOS, I. **Desempenho da Construção Civil em 2024 e Perspectivas para 2025**. Comitê de Economia, Dezembro de 2024. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2024>. Acesso em: 20 fev. 2025.

VASQUEZ, E. M. A. **Análise do conforto ambiental em projetos de habitações de interesse social segundo a NBR 15.575:2013**. 2017, 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2017.

VISEDO, G., PECCHIO, M. (coord.). **Roadmap tecnológico do cimento**: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p.