

## **Perfil ambiental de edificações com os sistemas construtivos em alvenaria estrutural e em taipa de pilão**

### ***Environmental profile of buildings with structural masonry and rammed earth construction systems***

**Bruna da Cunha Castilho, Engenheira civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Graduação em Engenharia Civil - Campus Apucarana.**

brunacastilho@alunos.utfpr.edu.br

**Augusto Montor de Freitas Luiz, Mestre em engenharia civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Graduação em Engenharia Civil - Campus Apucarana.**

augustom@utfpr.edu.br

**Sarah Honorato Lopes da Silva Tamura, Doutora em engenharia civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Campus Apucarana.**

sarahh@utfpr.edu.br

#### **Resumo**

Projetar edificações sustentáveis é essencial para reduzir impactos ao longo do ciclo de vida. Este estudo avaliou o impacto ambiental de sistemas construtivos, comparando os sistemas construtivos em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos e em taipa de pilão, para uma habitação de interesse social (HIS). Quantificou-se materiais nas fases pré-operação e operação. Resultados indicam que a fase de pré-operação é mais relevante para ambos os sistemas. A comparação revelou que a taipa de pilão tem impactos 1,68 vezes menores que a alvenaria estrutural. Essas conclusões contribuem para a literatura nacional sobre Avaliação do Ciclo de Vida na construção civil, auxiliando nas tomadas de decisões profissionais e acadêmicas.

**Palavras-chave:** avaliação do ciclo de vida; construção sustentável; construção com terra

#### **Abstract**

*Designing sustainable buildings is crucial for reducing impacts throughout their lifecycle. This study evaluated the environmental impact of construction systems, comparing structural masonry with ceramic blocks and rammed earth in social housing. Materials were quantified in the pre-operation and operation phases. Results indicate that the pre-operation phase is more relevant for both systems. The comparison revealed that rammed earth has 1.68 times lower impacts than masonry. These findings contribute to the national literature on Life Cycle Assessment in construction, aiding in professional and academic decision-making.*

**Keywords:** life cycle assessment; sustainable construction; earthen building

## 1. Introdução

A indústria da construção civil desempenha um papel de extrema importância nas atividades econômicas e sociais de um país. No entanto, é crucial reconhecer que essa mesma indústria tem sido uma grande geradora de impactos ambientais. Diante desse cenário, torna-se imperativo buscar qualificações e técnicas mais apropriadas e vantajosas para a construção de edifícios cada vez mais sustentáveis [1, 2]. Como estratégia para mitigar os impactos no setor da construção, diversas medidas têm sido propostas. Isso inclui a exploração das condições naturais locais, a gestão sustentável da implantação da obra, a utilização de matérias-primas que promovam a ecoeficiência do processo, a minimização do consumo energético e a adoção dos princípios de reduzir, reutilizar, reciclar e dispor adequadamente dos resíduos sólidos, entre outras ações [3]. Além disso, a incorporação de novos processos, metodologias, materiais, tecnologias e métodos construtivos que incentivem práticas mais sustentáveis e competitivas tem se mostrado uma alternativa eficaz para aumentar a eficiência das construções ao longo de seu ciclo de vida [4]. Nesse sentido, nas últimas décadas as técnicas vernáculas de construção com terra (adobe, taipa de pilão, taipa de mão, COB, por exemplo) têm sido revisitadas em virtude do desempenho associado ao conforto térmico, eficiência energética e quanto a logística associada ao sistema (disponibilidade local, mínimo processamento de matéria-prima e a reciclagem e reutilização), representando uma alternativa aos sistemas construtivos correntes [5, 6, 7].

Em se tratando dos sistemas construtivos convencionais, a alvenaria estrutural com bloco cerâmico (AEC) que apresentam coordenação modular, podem proporcionar a otimização do consumo de matérias-primas e recursos energéticos na construção e, conseqüentemente, a redução de resíduos gerados. Contudo, estes sistemas tradicionais ainda empregam materiais que demandam alto gasto energético em sua cadeia produtiva, como é o caso dos ligantes aéreos e hidráulicos, aço e produtos que passaram por processo de queima. Assim, a escolha por sistemas construtivos alternativos na etapa de projeto pode ser vantajosa em termos de redução dos impactos ambientais, a exemplo da taipa de pilão (TP). No entanto, antes que novos materiais de construção civil sejam rotulados como sustentáveis, é fundamental compreender os ganhos para o setor produtivo e a redução de impactos para o meio ambiente. Nesse sentido, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surge como uma metodologia essencial para fornecer um quadro geral de todos os aspectos ambientais e impactos potenciais associados a esses produtos durante seu ciclo de vida completo [8]. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar os impactos ambientais dos sistemas construtivos em AEC e TP para uma residência Habitacional de Interesse Social (HIS), mediante o emprego da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida.

## 2. Procedimentos Metodológicos

O estudo de caso foi conduzido em uma residência térrea de 51 m<sup>2</sup> projetada para atender às demandas das HISs e o desempenho de uma construção tradicional dentro do contexto brasileiro. A avaliação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida da edificação considerou os sistemas construtivos AEC e TP. Os detalhes referentes aos sistemas construtivos e um croqui arquitetônico estão apresentados na Figura 1, base para ambos os sistemas construtivos. Para o sistema construtivo em TP foram realizadas adaptações no projeto, de modo a atender aos requisitos estabelecidos na NBR 17014 [9], na Portaria n° 959 [10] e às recomendações de profissionais da área. As etapas consideradas foram de subestrutura, superestrutura, vedações e cobertura, com a descrição dos materiais apresentados no Quadro 1. A terra empregada nas paredes de TP e sua dosagem estão em

conformidade com as recomendações delineadas por Caldas *et al.* [11] e com os padrões estabelecidos pela NBR 17014 [9]. Maiores detalhamentos acerca do quantitativo de materiais de ambos o sistema, podem ser encontrados no estudo de Castilho [12].

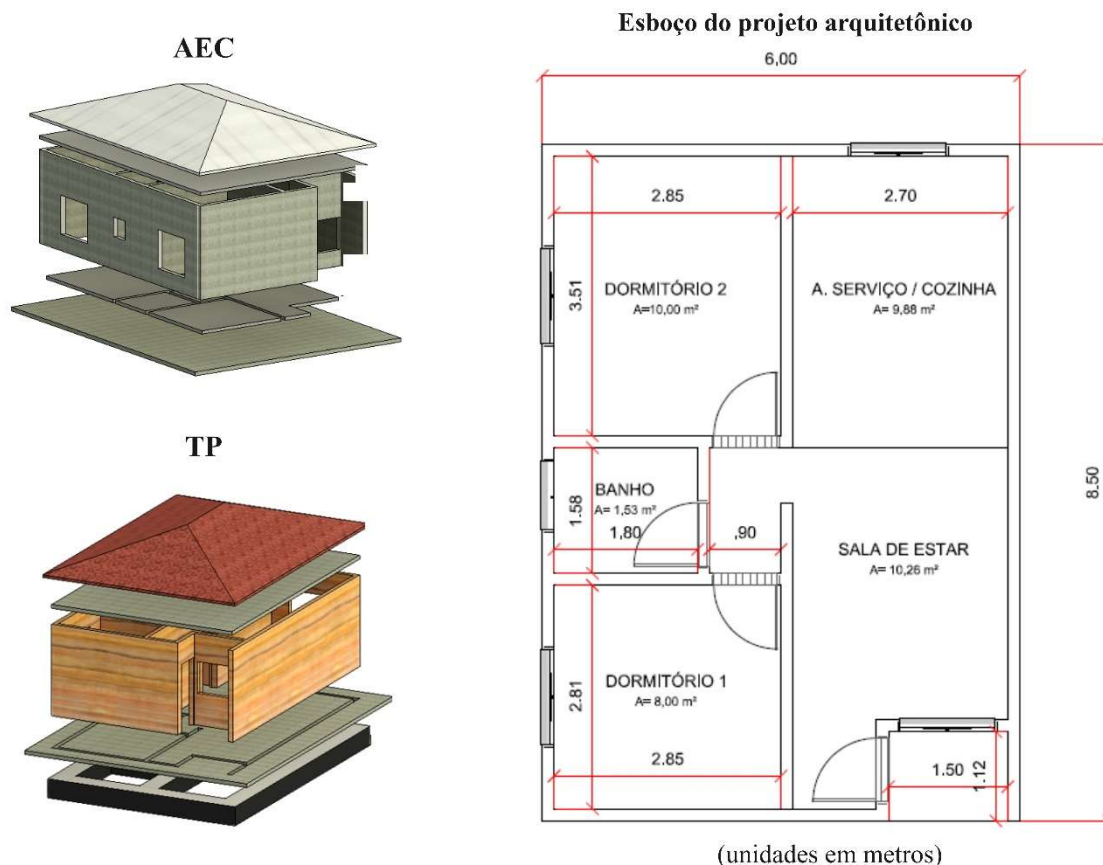


Figura 1: Simplificação dos sistemas construtivos e croqui arquitetônico. Fonte: Adaptado de Castilho [12]

Quadro 1: Descrição resumida dos materiais conforme o sistema construtivo

Etapa/Sistema construtivo	AEC	TP
Fundação	Radier em concreto com impermeabilizante asfáltico	Viga Baldrame com impermeabilizante asfáltico
Parede autoportante (espessura 15 centímetros; pé direito 2,70 metros)	Bloco estrutural cerâmico argamassado e preenchido com graute e aço	Mistura de terra e cimento: (70% areia, 30% argila e 5% cimento CII-Z-32)*
Verga/contraverga	Canaleta estrutural cerâmica preenchida com graute e aço	Madeira
Revestimento	Sistema chapisco e emboço Contrapiso	Resina acrílica Contrapiso
Laje	Vigotas treliçadas com placa de EPS	Vigotas treliçadas com lajotas cerâmicas
Cobertura	Estrutura de madeira com telha de concreto	Estrutura de madeira com telha cerâmica

(\*) Os teores dos materiais empregados foram determinados conforme os requisitos apresentados na norma ABNT 17014 [13].

Fonte: Castilho [12]

## 2.1. Desenvolvimento da ACV

Para o desenvolvimento da ACV seguiu-se a estrutura apresentada nas normas ABNT 14040 [14] e 14044 [15], empregando-se o software SimaPro 9.1.1 com a base de dados Ecoinvent 3.8 e o método CML-baseline, analisadas todas as categorias de impacto deste último. A análise contempla o ciclo de vida de uma HIS térrea, para referidos sistemas construtivos, do “berço ao portão”, que abrange duas fases do ciclo de vida, referentes à pré- operação e operação, sendo considerados os materiais de construção utilizados para a fabricação das HISs e reposições de materiais durante sua vida útil. Na pré- operação foram considerados os materiais necessários até a finalização da construção, já na fase de operação somente as substituições necessárias de materiais durante o uso da construção devido à processos de manutenção foram consideradas. Ademais, tomou-se como base uma vida útil de 50 anos de construção [16]. Explicita-se que não foram considerados a produção e manutenção de infraestrutura (máquinas e meios de transporte, por exemplo.), o transporte do insumo água, a energia consumida pela edificação e, ainda, a lona plástica 150 micras referente à execução do radier.

Para os dados de entrada (primários), levou-se em conta as quantidades de insumos levantadas para as habitações de cada sistema construtivo e estimados a partir do estudo de caso. Para os dados de saída (secundários), foram extraídos da base de dados Ecoinvent, disponível no software Simapro. Na fase inventário do ciclo de vida, o processo de cadastro dos insumos no software Simapro para as duas fases da ACV foi discriminado a partir da utilização de dados secundários extraídos da base Ecoinvent. A versão da base de dados utilizada para o cadastro dos materiais foi a Ecoinvent 3.8 – *allocation, cut-off by classification – unit*. No Quadro 2 estão descritos os materiais presentes no quantitativo dos sistemas construtivos e os correspondentes selecionados na base de dados.

**Quadro 2:** Materiais selecionados na base de dados

Material	Correspondente na base de dados
Aço	<i>Steel, low-alloyed, hot rolled {RoW}  production   Cut-off, U</i>
Água	<i>Tap water {BR}  tap water production, conventional treatment   Cut-off, U</i>
Areia	<i>Sand {BR}  market for sand   Cut-off, U</i>
Argila	<i>Clay {RoW}  clay pit operation   Cut-off, U</i>
Bloco cerâmico	<i>Clay brick {GLO}  market for   Cut-off, U</i>
Brita	<i>Gravel, crushed {BR}  market for gravel, crushed   Cut-off, U</i>
Cimento Portland	<i>Cement, Portland {BR}  market for cement, Portland   Cut-off, U</i>
Cal hidratada	<i>Lime, packed {RoW}  lime production, milled, packed   Cut-off, U</i>
Compensado plastificado	<i>Plywood, for outdoor use {RoW}  production   Cut-off, U</i>
Madeira pinus (forma de concretagem)	<i>Sawnwood, softwood, raw, dried (u=20%) {RoW}  market for   Cut-off, U</i>
Impermeabilizante asfáltico	<i>Bitumen seal, VA4 {RoW}  production   Cut-off, U</i>
Lajota cerâmica	<i>Clay brick {GLO}  market for   Cut-off, U</i>
Madeira pinus (demais usos)	<i>Sawnwood, hardwood, dried (u=10%), planed {RER}  market for   Cut-off, U</i>
Placa EPS	<i>Polystyrene, general purpose {RoW}  production   Cut-off, U</i>
Telha cerâmica	<i>Ceramic tile {RoW}  production   Cut-off, U</i>
Telha de concreto	<i>Concrete roof tile {RoW}  production   Cut-off, U</i>
Verniz acrílico	<i>Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   Cut-off, U</i>

Fonte: Castilho [12]

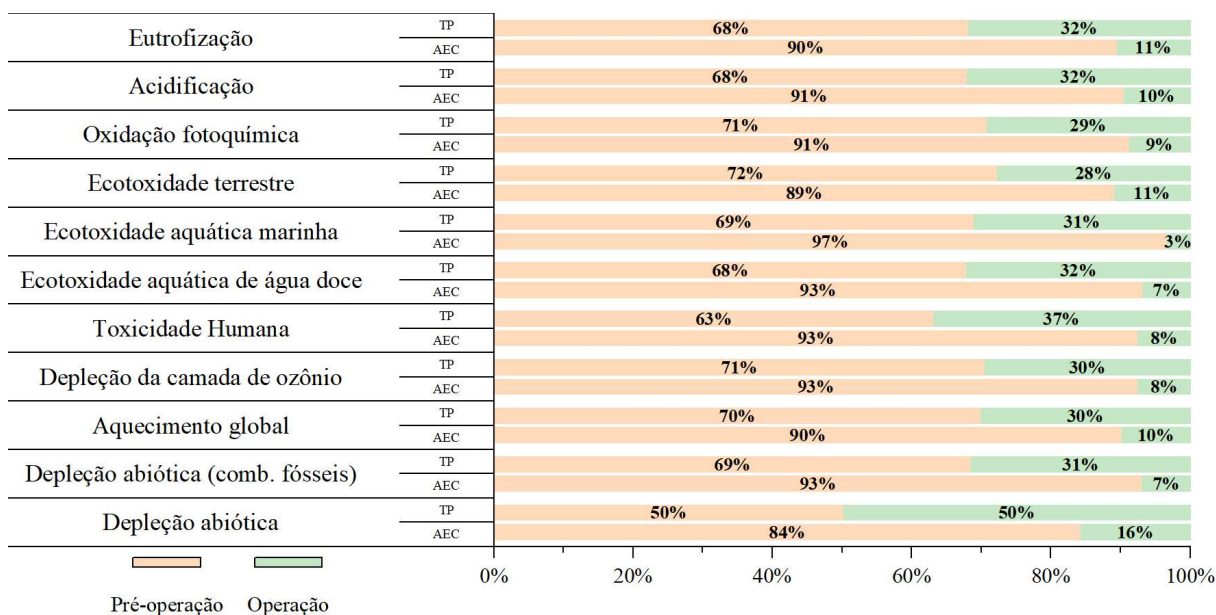
A versão utilizada não considera o reuso de resíduos ou produtos e materiais recicláveis, dessa maneira, os impactos consideram os impactos que ocorrem no processo produtivo sem a redução de materiais recicláveis [17]. Para mais, uma vez que a base de dados Ecoinvent utilizada se baseia no princípio de alocação, este procedimento não foi realizado durante o processo de desenvolvimento do inventário e levantamento de dados. Além disso, neste estudo, foram excluídos o contrapiso e a estrutura de madeira para o telhado, uma vez que suas quantidades são semelhantes em ambos os sistemas. Isso significa que não contribuem para a análise, uma vez que se trata de um comparativo. Por fim, explicita-se que os dados de caracterização, pós cálculo dos impactos de ambos os sistemas, foram normalizados. A 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 [18]. A base de dados normalizada empregada nesta pesquisa foi a World 2000, disponível no SimaPro para o método CML-baseline.

### 3. Resultados e discussões

Neste item serão apresentados os resultados relativos aos impactos ambientais da habitação nas fases de pré-operação e operação, das etapas construtivas e totais para ambos os sistemas construtivos.

#### 3.1. Impactos das fases de pré-operação e operação

A participação das duas fases do ciclo de vida da residência, em relação às categorias de impactos do estudo, está apresentada na Figura 2.



**Figura 2:** Impactos das fases da construção na habitação para os sistemas em AEC e TP. Fonte: Adaptado de Castilho [12]

Para ambos os sistemas construtivos, a fase de maior relevância do ciclo de vida para todas as categorias de impacto é a pré-operação. No sistema AEC, os impactos para todas as categorias analisadas na fase de pré-operação superam 80% do impacto total. No sistema TP, por outro lado, a fase de operação apresenta uma contribuição maior em relação à pré-operação; no entanto, esta última ainda supera 50% dos impactos por categoria. Apesar dos avanços na durabilidade das estruturas modernas de terra, a exposição às intempéries,

juntamente com a falta de cura e estabilização adequadas do solo, pode resultar em uma maior necessidade de manutenção dessas construções [7]. Isso pode justificar a observação de uma contribuição maior da fase de operação do sistema em TP em comparação com a fase de construção no ciclo de vida do edifício.

Destaca-se que, para o sistema em AEC, a ecotoxicidade aquática marinha apresenta maior contribuição na fase de pré-operação, representando cerca de 97% do total. Já para a fase de operação, a categoria de impacto com maior participação é a depleção abiótica, representando cerca de 16%. Para o sistema em TP, a maior contribuição na fase de pré-operação é referente à ecotoxicidade terrestre, atingindo cerca de 72%. De forma análoga ao sistema em AEC, na fase de operação, a depleção abiótica apresenta maior participação, representando cerca de 50%.

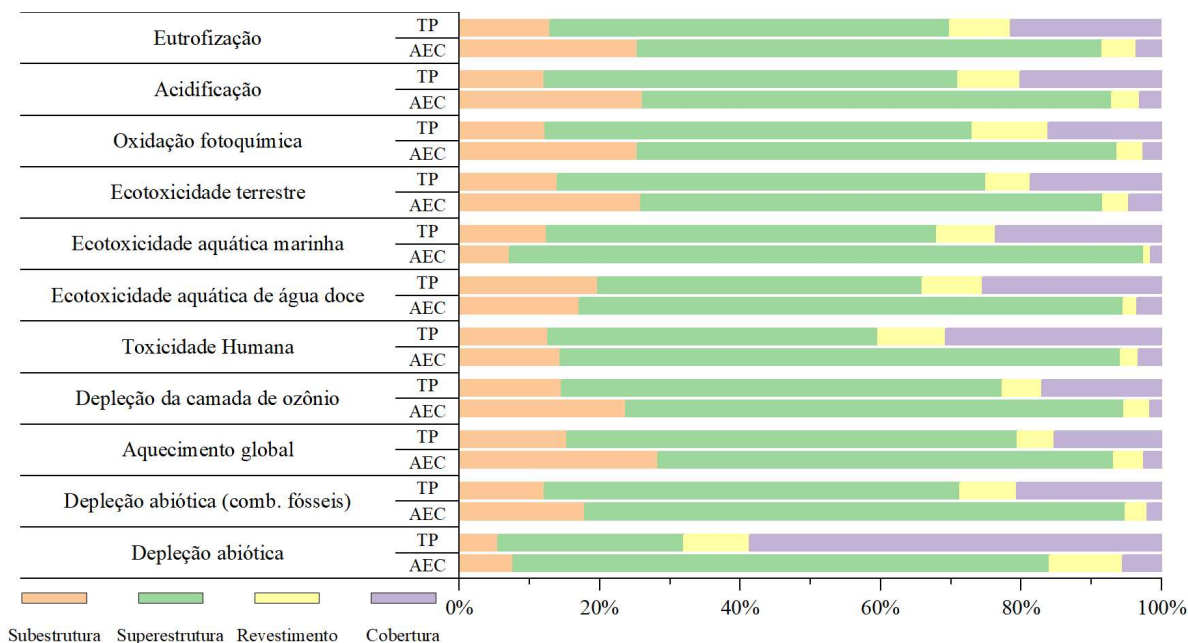
Tanto para o bloco cerâmico presente no sistema AEC quanto para a parede de TP, a terra é o principal insumo. No entanto, este material é utilizado em proporções distintas, já que os blocos cerâmicos não são maciços e geralmente possuem menor espessura em comparação com a parede de TP. Além disso, na fabricação dos blocos cerâmicos, há um processo de queima que requer uma alta demanda de energia. Como resultado, os impactos causados pela extração e consumo da terra são diluídos em relação às outras categorias influenciadas pelo consumo energético, no sistema em AEC. Por outro lado, para a TP, onde a terra é utilizada em seu estado natural, surge a hipótese de uma sobrecarga na categoria de impacto da ecotoxicidade terrestre em comparação com as demais, devido à ausência dessa diluição. Portanto, observa-se que o processo de queima da terra desempenha um papel relevante na geração de impactos ambientais durante a fase de pré-operação.

### 3.2. Impactos das etapas construtivas

A análise dos impactos dos materiais empregados na pré-operação de residências, abrangendo as fases de subestrutura, superestrutura, revestimento e cobertura, está delineada na Figura 3. No contexto do sistema em AEC, destaca-se a superestrutura (composta por elementos como alvenaria, vergas, contravergas e laje) como a principal fonte de impacto, representando aproximadamente 90% da ecotoxicidade aquática marinha. Por outro lado, a cobertura, materializada na forma de telhas de concreto, registrou contribuições mínimas, com destaque para a depleção abiótica, correspondendo a 5,6% do total. No que concerne ao revestimento, observou-se que esta etapa exerce uma influência mais significativa na categoria de aquecimento global, contribuindo com cerca de 28% do impacto total. Uma análise pormenorizada dos materiais utilizados, tanto na fase pré-operacional quanto na operacional, evidenciou que o bloco cerâmico se destaca como o principal contribuinte em todas as categorias consideradas, atingindo uma representatividade de aproximadamente 77% na ecotoxicidade aquática marinha, além de desempenhar um papel relevante nas categorias de depleção abiótica (derivada de combustíveis fósseis), depleção da camada de ozônio e aquecimento global. Por fim, o aço, o cimento Portland e as telhas de concreto também demonstraram contribuições significativas nas categorias analisadas.

Para o sistema em TP, considerando tanto a fase de pré-operação quanto de operação da residência, constatou-se que a superestrutura (composta pela parede de TP, vergas, contravergas e laje) emerge como a etapa de maior impacto nas categorias avaliadas, com exceção da depleção abiótica, na qual a cobertura (telha cerâmica) registrou cerca de 59%. Destaca-se que a categoria mais relevante para a superestrutura é o aquecimento global, com 64%. A subestrutura (fundação) alcançou uma contribuição máxima de cerca de 20% para a ecotoxicidade aquática de água doce. Por outro lado, o revestimento (verniz acrílico) é a etapa

de menor contribuição, representando aproximadamente 11% para a oxidação fotoquímica. Além disso, observou-se que a telha cerâmica é o material de maior contribuição em todos os impactos ambientais avaliados para o sistema em TP, seguido pelo aço, verniz acrílico e lajota cerâmica. Uma análise específica dos materiais empregados na parede de TP (terra, água e cimento Portland) revela que, nas categorias analisadas, o impacto desses materiais é relativamente baixo, sendo inferior a 10% em todas elas.



**Figura 3:** Impactos das etapas da construção na habitação para os sistemas em AEC e TP. Fonte: Adaptado de Castilho [12]

### 3.3. Impactos totais dos sistemas construtivos

A Tabela 1 apresenta as contribuições das residências para as categorias de impacto consideradas, abrangendo tanto o sistema em AEC quanto em TP. Entre as onze categorias analisadas, o sistema em AEC demonstrou uma influência maior nos impactos em oito delas. O aquecimento global foi a categoria que apresentou a maior discrepância entre os sistemas construtivos investigados (149%), considerando a AEC como referência, seguida pela depleção da camada de ozônio (114%). Por outro lado, o sistema em TP registrou a maior contribuição para a depleção abiótica, atingindo uma diferença de aproximadamente 48% em relação ao AEC.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o perfil ambiental da AEC é mais nocivo, uma vez que apresenta uma maior quantidade de emissões para a maioria das categorias de impacto analisadas. Entretanto, é importante ressaltar que o sistema em TP demonstrou um desempenho ambiental inferior para as categorias Toxicidade Humana, Ecotoxicidade aquática de água doce e Depleção abiótica. Embora este último sistema registre menores impactos nessas categorias específicas, é fundamental evitar qualquer juízo de valor entre elas, uma vez que cada categoria deve ser analisada individualmente, mesmo havendo variação de valores que variam da ordem milhões de kg equivalentes à décimos de milésimo, como mostrado na Tabela 1.

A análise comparativa dos impactos totais normalizados foi realizada com o objetivo de converter os valores dos indicadores de categoria de impacto em uma mesma unidade, a fim de identificar sua significância relativa. Constatou-se que, para os valores normalizados, a AEC apresenta uma maior contribuição nos impactos ambientais totais para as categorias avaliadas,

totalizando  $1,28 \times 10^{-7}$ , enquanto a TP alcança  $7,63 \times 10^{-8}$ . Portanto, os impactos causados pelo sistema em AEC são aproximadamente 68% maiores do que os causados pelo sistema em TP.

**Tabela 1:** Comparativo entre os dados de caracterização das residências em AEC e TP

Categorias de impacto	Unidade	AEC	TP	Diferença (%)
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	1,98E+04	7,92E+03	149%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	1,30E-03	6,06E-04	114%
Ecotoxicidade aquática marinha	kg 1,4-DB eq	2,34E+07	1,34E+07	75%
Depleção abiótica (combustíveis fósseis)	MJ	1,69E+05	9,84E+04	72%
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> eq	5,71E+01	3,82E+01	49%
Oxidação fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	3,75E+00	2,82E+00	33%
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> eq	1,60E+01	1,26E+01	27%
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	1,86E+01	1,55E+01	20%
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	7,39E+03	7,50E+03	-2%
Ecotoxicidade aquática de água doce	kg 1,4-DB eq	5,72E+03	6,43E+03	-11%
Depleção abiótica	kg Sb eq	1,01E-01	1,94E-01	-48%

Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4. Conclusão

A fase operacional no sistema em TP apresentou maior relevância nos impactos analisados. Dessa forma, para otimizar o desempenho ambiental nesta fase, são necessários estudos sobre o comportamento dos insumos básicos que compõem a parede de TP, bem como dos componentes do sistema, a exemplo do revestimento, visando aumentar sua durabilidade.

Em relação à análise das etapas construtivas, observou-se que a superestrutura apresenta maior contribuição nos impactos por categoria, para ambos os sistemas. Além disso, ao examinar detalhadamente a contribuição de cada material, notou-se que alguns deles, e apresentam impacto mais significativo do que outros, a exemplo do bloco cerâmico, cimento e telha de concreto para o sistema em AEC, e da telha cerâmica, aço, verniz e lajota cerâmica para o sistema em TP. Esse resultado destaca a importância da especificação criteriosa dos materiais de construção durante a fase de projeto.

A exemplo do sistema em TP, que demanda um volume considerável de terra impactando mais acentuadamente na Depleção Abiótica, a preferência pelo uso de terra de reuso, como materiais provenientes de escavações ou de atividades de cortes e aterros, pode consolidar uma alternativa menos prejudicial em termos ambientais, em consonância com o observado por Caldas et al. [11]. Assim, os estudos do perfil ambiental permitem ao projetista otimizar o sistema construtivo escolhido, por meio da revisão dos materiais, processos e equipamentos previstos dentro do sistema de produto. Nesse contexto, a ACV emerge como uma potencial ferramenta projetual, fornecendo suporte ao projetista em relação a possíveis substituições de insumos considerados mais prejudiciais ao meio ambiente. Para isso, sugere-se uma escolha que priorize materiais menos processados, ou ainda subprodutos de outros processos produtivos.

Salienta-se, por fim, que alterações em parâmetros projetuais como espessura das paredes e proporção dos insumos que compõem a taipa, influenciam diretamente no perfil ambiental desse sistema. Assim, extrapolações das análises dos perfis ambientais dos sistemas avaliados



podem ser realizadas desde que observadas as condições de contorno detalhadas no presente estudo.

## Referências

- [1] BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, v. 61, p. 178-189, 2015.
- [2] CORRÊA, L. R. Sustentabilidade na construção civil. 2009. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- [3] YEMAL, J. A.; TEIXEIRA, N. O. V.; NAAS, I. A. Sustentabilidade na construção civil. In: *International Workshop Advances In Cleaner Production*. 2011. p. 1-10.
- [4] CAMPESTRINI, T. F.; GARRIDO, M. C.; MENDES JUNIOR, R.; SCHEER, S.; FREITAS, M. C. D. Entendendo BIM: uma visão do projeto de construção sob o foco de informação. 1 ed., 2015.
- [5] NOWOTNA, A.; PIETRUSZKA, B.; LISOWSKI, P. Eco-Friendly Building Materials. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, v. 290, n. 1, p. 12024, 2019. doi: 10.1088/1755-1315/290/1/012024
- [6] ARINI, R. Arquitetura de terra: uma solução ecológica, econômica e autossustentável, *Revista de Direito da Cidade*, vol. 7, no 1, p. 303–312, fev. 2015, doi: <https://doi.org/10.12957/rdc.2015.15196>
- [7] KULSHRESHTHA, Y.; MOTA, N. J. A.; JAGADISH, K.S.; BREDENOORD, J.; VARDON, P. J.; LOOSDRECHT, M. C. M.; JONKERS, H. M. The potential and current status of earthen material for low-cost housing in rural India, *Construction and Building Materials*, v. 247, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118615>
- [8] SANTOS, M. F. N. D.; BATTISTELLE, R. A. G.; HORI, C. Y.; JULIOTI, P. S. Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. *Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, n. 2, p. 57, 2011.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17014: Taipa de pilão: requisitos, procedimentos e controle. Rio de Janeiro, 2022.
- [10] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. Portaria nº 959, de 18 de maio de 2021. Estabelece requisitos para implementação de empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento Aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 19 de maio de 2021. Seção 1: 155-174.
- [11] CALDAS, L. R.; PAIVA, R. D. L. M.; MARTINS, A. P. S.; TOLEDO FILHO, R. D. Argamassas de terra versus convencionais: avaliação do desempenho ambiental considerando o ciclo de vida. *Mix sustentável*, vol. 6, no 4, p. 115–128, 2020.
- [12] CASTILHO, B. C. Avaliação do Ciclo de Vida entre edificações de alvenaria estrutural e taipa de pilão: estudo de caso. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2022.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17014: Taipa de Pilão – Requisitos, procedimentos e controle. Rio de Janeiro, 2022.

- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.
- [16] PILZ, T. L.; MACENO, M. M. C. Avaliação do ciclo de vida e construção civil: uma revisão da literatura acerca da avaliação de residências unifamiliares. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 6, n. 1, p. 0049-0055, 2020. doi: <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss1pp0049-0055>
- [17] ECOINVENT. Geographies names coordinates shortcuts overlaps, 2022.
- [18] HEIJUNGS, R.; SUH, S. *The computational structure of life cycle assessment*. Dordrecht; London: Springer, 2011. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-9900-9>