AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO_2 PELA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS COM SUPORTE DE BIM E ACV

EVALUATION OF CO_2 EMISSION REDUCTIONS THROUGH MATERIAL SUBSTITUTION SUPPORTED BY BIM AND LCA METHODOLOGIES

Milena Franco Fagundes [1]; Sergio Fernando Tavares [2].

[1]Engenheira Civil | milenaffagundes@outlook.com | UFPR | Curitiba, Brasil; [2]Doutor em Engenharia Civil | sergioftavares@gmail.com | UFPR | Curitiba, Brasil;

Resumo:
A construção civil é uma das atividades que mais contribuem para as emissões de gases de efeito estufa, especialmente em razão do uso intensivo de materiais de alto impacto ambiental. Este estudo investigou como a aplicação integrada das metodologias *Building Information Modeling (BIM)* e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode contribuir para a redução da pegada de carbono em edificações residenciais. Foi desenvolvido um modelo BIM de um sobrado residencial, a partir do qual foram extraídos quantitativos de materiais para análise no *software One Click LCA*. A comparação entre um cenário convencional e outro com materiais sustentáveis revelou uma redução de 42,36% nas emissões totais de $CO_{2\ eq.}$, evidenciando o potencial transformador da substituição de insumos tradicionais por alternativas ecoeficientes. A análise foi conduzida com base no escopo “do berço ao portão”, sugerindo que resultados ainda mais expressivos podem ser alcançados por meio de avaliações com abrangência ampliada. Conclui-se que a adoção combinada de BIM e ACV configura uma estratégia tecnicamente embasada e alinhada às diretrizes de sustentabilidade na construção civil.

Palavras-chave:
ACV; BIM; Sustentabilidade; Materiais; Emissões de CO_2.

Abstract:
The construction sector is one of the main contributors to greenhouse gas emissions, primarily due to the intensive use of materials with high environmental impact. This study investigated how the integrated application of Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA) methodologies can support the reduction of the carbon footprint in residential buildings. A BIM model of a two-story residential house was developed, from which material quantities were extracted for analysis using the One Click LCA software. A comparison between a conventional scenario and one incorporating sustainable materials revealed a 42.36% reduction in total $CO_{2\ eq.}$ emissions, highlighting the transformative potential of replacing traditional inputs with eco-efficient alternatives. The analysis was conducted based on a 'cradle-to-gate' scope, suggesting that even more significant results could be achieved through broader system boundaries. It is concluded that the combined adoption of BIM and LCA constitutes a technically sound strategy aligned with sustainability guidelines in the construction industry.

Keywords:
LCA; BIM; Sustainability; Materials; CO_2 Emissions.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das indústrias mais relevantes para o desenvolvimento econômico e urbano das sociedades contemporâneas, sendo responsável por impulsionar a infraestrutura, a habitação e o crescimento das cidades. Entretanto, é também um dos maiores consumidores de recursos naturais e geradores de impactos ambientais significativos, especialmente devido à alta demanda energética e à elevada emissão de gases de efeito estufa (GEEs) ao longo do ciclo de vida das edificações (Ortega, Pinto, 2020; Tajani *et al*., 2020). De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), o setor da construção representa cerca de 38% das emissões globais relacionadas à energia, o que reforça a necessidade urgente de práticas mais sustentáveis e alinhadas com os compromissos internacionais de redução de carbono.

Esse cenário é agravado por desafios como o crescimento urbano acelerado, a escassez de recursos naturais, o desperdício nos canteiros de obras e o envelhecimento da infraestrutura existente (World Economic Forum, 2024; IEA, 2023). Tais condições exigem uma transição para modelos construtivos mais eficientes e sustentáveis, pautados na minimização de impactos, uso racional de materiais e valorização de ciclos produtivos mais circulares (Santos *et al*., 2020; Gonçalves, 2023). Nesse contexto, a escolha consciente de insumos e a adoção de metodologias que considerem todas as etapas do ciclo de vida ganham papel central na construção de edifícios mais responsáveis (Munaro, Tavares, 2023; Zhang *et al*., 2023).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) destaca-se como ferramenta fundamental para mensurar os impactos ambientais associados aos materiais e processos construtivos, abrangendo desde a extração das matérias-primas até a disposição final dos resíduos, permitindo decisões baseadas em dados objetivos (ISO 14040, 2022; Gursel *et al*., 2023; Pomponi, Moncaster, 2023). Sua integração com o *Building Information Modeling (BIM)* amplia o potencial analítico dos projetos, otimizando o uso de materiais, reduzindo desperdícios e contribuindo para uma abordagem mais eficiente e colaborativa ao longo de todo o ciclo de vida da construção (Zhang *et al*., 2023; Durmisevic *et al*., 2020; Munaro, Tavares, 2022). Quando associada aos princípios da economia circular, essa combinação promove maior reaproveitamento de recursos, redução de resíduos e incentivo à reutilização de materiais.

Diante deste contexto, o trabalho propõe investigar como a aplicação da ACV, a partir de projetos em modelagem BIM, pode amplificar os benefícios da substituição de materiais na construção civil, promovendo escolhas mais sustentáveis e alinhadas aos desafios climáticos e à circularidade. Embora existam alternativas de desenvolvimento de projetos com menor impacto ambiental, sua adoção ainda enfrenta barreiras, como a falta de critérios claros de comparação e o desconhecimento técnico (Cabeza *et al*., 2021; Jalaei *et al*., 2022).

Assim, a pesquisa tem como objetivo descrever uma avaliação de pegada de carbono a partir da integração entre ACV e BIM em uma edificação residencial, no sentido de subsidiar decisões mais conscientes, promovendo uma abordagem sistêmica e sustentável no processo projetual.

Em suma, este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a revisão de literatura; a seção 3 detalha os métodos da pesquisa; a seção 4 discute os principais resultados; e a seção 5 apresenta as conclusões e sugestões para estudos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A ACV é uma metodologia padronizada pelas normas ISO 14040 e ISO 14044, desenvolvida para mensurar sistematicamente os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço. No contexto da construção civil, essa análise abrange desde a extração das matérias-primas até o uso e descarte das edificações. Sua principal vantagem está na abordagem holística, que permite comparar alternativas construtivas com base em dados quantitativos e objetivos (Fava *et al*., 2022).

A aplicação da ACV em projetos arquitetônicos e de engenharia tem se mostrado eficaz no suporte à tomada de decisões sustentáveis. Estudos como o de Dixit (2021) indicam que a ACV permite identificar os principais pontos críticos em termos de emissões de carbono, consumo energético e geração de resíduos. No entanto, desafios persistem quanto à padronização dos dados de entrada, à escassez de bases regionais e à complexidade de modelagem de edificações inteiras. Em suma, ao quantificar as consequências de diferentes escolhas construtivas, a metodologia se destaca como uma importante ferramenta voltada à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, especialmente quando integrada a outras abordagens como o BIM.

No Brasil, iniciativas como o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e estudos nacionais têm contribuído para o avanço da aplicação da ACV no setor (Silva *et al*., 2023). Complementarmente, sua incorporação em políticas públicas e certificações ambientais como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*) constitui como estratégia para impulsionar a sustentabilidade no setor.

2.2. ECONOMIA CIRCULAR NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A economia circular representa uma mudança de paradigma frente ao modelo linear de produção e descarte. Na construção civil, busca-se reduzir o uso de recursos naturais, minimizar resíduos e reinserir materiais no ciclo produtivo, promovendo maior eficiência e sustentabilidade. Munaro e Tavares (2023) destacam que sua aplicação desde o projeto até a execução pode reduzir significativamente os impactos ambientais, sobretudo quando associada à escolha de materiais sustentáveis e ao reaproveitamento de insumos. Práticas como reutilização de resíduos, sistemas modulares e planejamento para desmontagem estão alinhadas a essa abordagem.

Novas metodologias têm sido desenvolvidas para viabilizar a integração dos princípios circulares à prática construtiva, sendo o BIM uma das principais ferramentas. Gonçalves (2023) ressalta que seu uso em projetos circulares amplia a eficiência no uso de materiais e a previsibilidade do desempenho ambiental. Certificações como LEED e EDGE reforçam essa lógica ao exigir critérios de durabilidade, gestão de resíduos e eficiência de recursos.

A economia circular propõe o redesenho de produtos e processos para viabilizar a reutilização, renovação e reciclagem contínua de recursos, com uma visão sistêmica do ciclo de vida (Almeida *et al*., 2022). Exemplos incluem o uso de agregados reciclados, materiais biodegradáveis, elementos de fácil desmontagem e requalificação de edificações. O conceito de design para desmontagem (DfD) permite o reaproveitamento ao final da vida útil, reduzindo impactos do descarte (Silva *et al*., 2022). Adotar esses princípios desde a concepção do projeto gera benefícios ambientais, econômicos e sociais, alinhando o setor às demandas contemporâneas (Carvalho *et al*., 2023).

2.3. MATERIAIS E SUSTENTABILIDADE

A escolha dos materiais de construção exerce papel central na sustentabilidade das edificações, influenciando diretamente as emissões de carbono, o consumo energético e a geração de resíduos. Materiais convencionais como o cimento Portland e o aço são altamente intensivos em carbono, contribuindo significativamente para o impacto ambiental do setor. Em contrapartida, alternativas como geopolímeros, concretos com adições minerais e madeira engenheirada vêm sendo estudadas como soluções viáveis para reduzir esses impactos (Zhang *et al*., 2022; Rahimi *et al*., 2021). Geopolímeros, por exemplo, são desenvolvidos a partir de resíduos industriais, podem substituir o cimento convencional e reduzir em até 80% as emissões de CO_2 (Santos *et al*., 2023). A madeira engenheirada, como o glulam, tem sido aplicada com sucesso em substituição ao concreto e ao aço, oferecendo desempenho técnico e menor pegada de carbono devido à capacidade de estocar CO_2 e à menor energia demandada em sua produção (Ramage *et al*., 2021). Concretos verdes, que incorporam resíduos industriais, reduzem até 60% das emissões e ajudam a mitigar o volume de resíduos enviados a aterros (Silva *et al*., 2022).

Nesse cenário, a ACV se consolida como ferramenta essencial para validar os benefícios ambientais dos novos materiais e fundamentar escolhas técnicas. Além das emissões, a ACV permite mensurar impactos relacionados ao uso de recursos naturais e à geração de resíduos. Gonçalves *et al*. (2023) demonstram, em estudos com edificações certificadas pelo EDGE, reduções substanciais nas emissões com o uso de blocos de solo-cimento e concretos com adições recicladas.

No Brasil, o avanço regulatório tem fortalecido a inserção da sustentabilidade na construção civil. A recente norma ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2023) define diretrizes para a aplicação da ACV, enquanto programas como o PBQP-H e o SINAPI têm buscado incorporar critérios ambientais e materiais de menor impacto em suas bases de dados, promovendo maior viabilidade para a adoção de soluções sustentáveis no setor.

2.4. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) E SUSTENTABILIDADE

O BIM é uma metodologia que permite a criação, gerenciamento e visualização digital de todas as informações de um projeto ao longo de seu ciclo de vida. Sua aplicação tem sido fundamental para aumentar a eficiência, a precisão e a integração entre os agentes envolvidos no processo construtivo. Do ponto de vista ambiental, o BIM se destaca como uma ferramenta estratégica ao viabilizar simulações energéticas, cálculos quantitativos mais precisos e a integração com ferramentas como a ACV (Costa *et al*., 2023).

Sua conexão com bases de dados ambientais permite otimizar a escolha de materiais e reduzir emissões desde a concepção do projeto (Jalaei *et al*., 2022). O rastreamento do desempenho ambiental ao longo do tempo contribui para manter decisões sustentáveis durante todo o ciclo de vida (Bortolini *et al*., 2022). O BIM também facilita o planejamento eficiente e a antecipação de falhas, evitando desperdícios. Modelos integrados a ferramentas de análise térmica, como os baseados em IFC (Industry Foundation Classes) e INI-R (Instrução Normativa de Integridade de Registros do Inmetro), auxiliam na previsão do desempenho energético, possibilitando ações de redução de consumo e de emissões (Godoi, 2023).

Assim, a integração entre BIM e ACV amplia o controle sobre os impactos ambientais, facilita o uso de materiais sustentáveis e otimiza recursos ao longo do ciclo construtivo. Essa sinergia permite prever e avaliar os impactos ambientais de decisões tomadas ainda nas fases iniciais do projeto, promovendo uma abordagem mais estratégica e orientada pela sustentabilidade (Bueno, Fabricio, 2016). Tais abordagens vêm sendo cada vez mais adotadas em projetos de alto desempenho, com foco na redução da pegada ambiental e na maximização da eficiência de recursos (Ríos *et al*., 2023; Pinto *et al*., 2022).

3. MÉTODOS

3.1. A IMPORTÂNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é um dos setores mais intensivos no uso de recursos naturais e na geração de impactos ambientais, sendo responsável por uma parcela significativa das emissões globais de dióxido de carbono (CO_2). Nesse contexto, a substituição de materiais convencionais por alternativas sustentáveis surge como uma estratégia eficaz para mitigar esses impactos, contribuindo para a construção de edificações com menor pegada ambiental (González *et al*., 2022). O uso intensivo de cimento Portland e aço, por exemplo, eleva consideravelmente a energia incorporada nas edificações e, consequentemente, suas emissões totais. A escolha consciente de materiais, portanto, representa um dos primeiros passos rumo à sustentabilidade no ambiente construído. A troca por soluções como madeira engenheirada, concretos com adições minerais, blocos de solo-cimento e pisos laminados certificados, além de reduzirem a emissão de CO_2, colaboram para práticas construtivas alinhadas à economia circular, ao reduzir a extração de novos recursos e incentivar o reaproveitamento de resíduos (Rehman *et al*., 2023).

3.2. PROJETO ARQUITETÔNICO E MODELAGEM BIM

A análise realizada neste estudo tem como base um projeto arquitetônico de um sobrado triplex de padrão médio com área total de 412,85 m² - pavimento inferior de 199,37 m², pavimento superior com área de 117,19 m² e a cobertura com 96,30 m² - modelado por meio do software Revit (Autodesk, 2024), integrado à metodologia BIM. A modelagem permitiu a definição precisa dos materiais utilizados, organizando as informações de forma digital e compatível com a plataforma *One Click LCA* (*One Click LCA*, 2024). O uso do BIM, nesse sentido, não apenas facilitou o levantamento de quantitativos como também possibilitou a exportação de dados detalhados por elemento construtivo, essencial para a análise das emissões.

3.3. LEVANTAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

O levantamento quantitativo dos materiais foi realizado diretamente a partir do modelo BIM, o que garante maior precisão na extração dos dados e facilitou a posterior análise comparativa. Foram considerados volumes e áreas correspondentes aos principais componentes construtivos da edificação, como estrutura, alvenaria, revestimentos, coberturas e fundações.

Para a quantificação de carbono incorporado, cada material foi associado a um fator de emissão específico, com base em dados certificados disponíveis na plataforma *One Click LCA* (*One Click LCA*, 2024). O estudo adotou a abordagem “berço ao portão” (*cradle-to-gate*), que contempla as etapas desde a extração das matérias-primas até a entrega dos materiais no canteiro de obras, desconsiderando fases posteriores como transporte, uso, manutenção e descarte. Embora limitada, essa abordagem é amplamente aceita em estudos de ACV aplicados à construção civil, especialmente pela viabilidade de acesso a dados e pelo foco na fase de produção, onde se concentram os maiores impactos ambientais (Cabeza *et al*., 2021).

A extração dos quantitativos no Revit (Autodesk, 2024) foi realizada por meio das tabelas automatizadas vinculadas aos elementos modelados. A partir da modelagem paramétrica da edificação, o software permitiu gerar relatórios com os volumes, áreas e materiais correspondentes aos componentes construtivos. Cada categoria — como estrutura, alvenaria, revestimentos e fundações — foi organizada com base nos parâmetros definidos durante a modelagem, assegurando consistência na leitura dos dados. Essas informações foram sistematizadas conforme apresentado na Tabela 1, servindo como base para a quantificação das emissões na plataforma *One Click LCA* (*One Click LCA*, 2024).

Elemento/ Descrição	**Volume total (m²)**
Concreto - Viga	144,20
Concreto - Laje	
Concreto - Pilares	
Concreto - Piscina	
Concreto - Escada	
Concreto - Sapatas	
Volume das Paredes	140,35
Volume dos Tijolos	88,22
Argamassa de Assentamento	52,17
Argamassa de Revestimento	
Contrapiso	12,39
Porcelanato - piso frio	53,38
Laminado - piso quente	25,19
Cascalho - térreo	8,00

Tabela 1: Quantitativos extraídos do Revit.
Fonte: os autores (2025).

3.4. A AMPLIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS PELA ACV

Embora a substituição de materiais por si só já represente um avanço significativo em termos ambientais, é a aplicação da ACV que permite maximizar os benefícios dessa prática. No contexto deste estudo, a ACV foi empregada como ferramenta para comparar os impactos ambientais entre o cenário convencional e o sustentável, com base nos dados extraídos do modelo BIM. Ao utilizar uma abordagem "do berço ao portão", foi possível identificar as etapas e materiais que mais contribuem para as emissões totais da construção e, com isso, propor substituições mais eficientes do ponto de vista ambiental. A análise demonstrou, por exemplo, que a madeira engenheirada apresenta vantagens expressivas quando comparada ao concreto armado, não apenas pela menor emissão direta de CO_2, mas também pela capacidade de estocar carbono ao longo do ciclo de vida (Ramage *et al*., 2021).

Essa substituição não se trata apenas da escolha de materiais de menor impacto direto, mas também da consideração de aspectos como durabilidade, capacidade de reaproveitamento, origem renovável e eficiência energética durante a produção. Além disso, a ACV permite visualizar os impactos indiretos, como os benefícios do uso de materiais recicláveis, a redução do consumo de energia durante a produção e as oportunidades de reaproveitamento ao fim da vida útil da edificação. Essa abordagem integrada está em sintonia com os princípios da economia circular, que propõe ciclos contínuos de uso e regeneração dos recursos, minimizando o desperdício e promovendo a sustentabilidade a longo prazo (Chen *et al*., 2021). Dessa forma, a ACV atua como um amplificador dos benefícios ambientais da troca de materiais ao fornecer dados concretos que respaldam a escolha de soluções mais sustentáveis. Essa combinação entre substituição consciente e análise sistemática permite não apenas reduzir emissões, mas transformar a lógica de concepção e execução de projetos no setor da construção civil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. INSERÇÃO DOS MATERIAIS NO ONE CLICK LCA

Com base no levantamento quantitativo extraído do modelo BIM, procedeu-se à inserção dos elementos no software *One Click LCA* (*One Click LCA*, 2024), respeitando a classificação padronizada da plataforma, que organiza os materiais em seis grupos distintos: (1) Fundação e Subestrutura; (2) Estruturas Verticais e Fachada; (3) Estruturas Horizontais (vigas, pisos e coberturas); (4) Outras Estruturas e Materiais; (5) Áreas Externas e Elementos do Terreno; e (6) Tecnologia de Construção. Para a edificação analisada, foram utilizados os grupos 1 a 5.

No grupo Fundação e Subestrutura, foi inserida a sapata, responsável pela transferência das cargas da edificação para o solo. Em Estruturas Verticais e Fachada, o pilar foi o elemento principal considerado. Já no grupo Estruturas Horizontais, foram incluídas lajes, pisos (quente e frio), cascalho, contrapiso e vigas. O grupo Outras Estruturas e Materiais contemplou escadas, tijolos e argamassas de assentamento e revestimento. Por fim, no grupo Áreas Externas e Elementos do Terreno, inseriu-se o volume da piscina. A seleção dos materiais baseou-se em suas respectivas emissões, ou seja, considerou-se para a troca um material que possuísse características reais, mas com menor pegada de carbono.

4.1.1. MATERIAIS CONVENCIONAIS X MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

Os materiais convencionais utilizados seguiram critérios técnicos de desempenho e disponibilidade no contexto brasileiro. Para as estruturas de concreto, utilizou-se concreto C20/25 com 40% de ligantes reciclados, resultando em uma emissão de 163,45 kg CO_2e/m³. Os pisos foram compostos por laminado DPL de 8 mm, com emissão de 14,84 kg CO_2e/m² para os ambientes quentes, e porcelanato esmaltado (22 kg/m²), com 9,25 kg CO_2e/m² para os ambientes frios. O contrapiso foi representado por uma argamassa de composição mista (areia cálcica, areia sílica e cimento Portland), modelo 4201 Matrix (Votorantim), com emissão de 0,19 kg CO_2e/kg. Para o cascalho, utilizou-se rocha britada (0–100 mm), com densidade seca de 1680 kg/m³ e potencial de 0,0065 kg

CO_2e/kg. Os tijolos de barro (143 kg/m²) apresentaram emissão de 15,28 kg CO_2e/m², e as argamassas (modelo 5201 Múltiplo Uso) foram quantificadas com a mesma taxa do contrapiso: 0,19 kg CO_2e/kg.

A seleção dos materiais sustentáveis priorizou o menor impacto ambiental possível, respeitando a realidade do mercado nacional. O concreto adotado manteve a mesma classe de resistência (C20/25), porém com 55% de ligantes reciclados, reduzindo sua emissão para 135,43 kg CO_2e/m³. Para os pisos quentes, utilizou-se piso vinílico de luxo (2,5 mm; 4,3 kg/m²), com emissão de 8,22 kg CO_2e/m². Já nos pisos frios, optou-se por ladrilho cerâmico esmaltado (20 kg/m²), com 8,63 kg CO_2e/m². O contrapiso foi substituído por agregado reciclado de concreto (RCA), com densidade de 2220 kg/m³ e emissão de apenas 0,0008 kg CO_2e/kg. O cascalho triturado utilizado apresentou emissão de 0,0025 kg CO_2e/kg. No lugar dos tijolos de barro, foram empregados blocos celulares de concreto, com emissão de 0,00974 kg CO_2e/kg. Para argamassa de assentamento, manteve-se a mesma da versão convencional, enquanto a argamassa de revestimento foi substituída por argamassa de gesso, com emissão de 0,17 kg CO_2e/kg.

4.2. QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA DA EMISSÃO DE CARBONO – MATERIAIS CONVENCIONAIS X SUSTENTÁVEIS

Após a modelagem dos dois cenários no *One Click LCA* (*One Click LCA*, 2024), foram identificadas as emissões totais de carbono por grupo funcional de materiais. Com base em metodologias consolidadas de ACV, o sistema calcula as emissões em cada etapa do processo construtivo, permitindo uma visão abrangente e fundamentada do impacto ambiental gerado. A estimativa das emissões de carbono concentrou-se especificamente nos materiais empregados na construção, considerando que esses elementos representam a principal fonte de impactos ambientais do edifício. De acordo com a Figura 1, aproximadamente 81% das emissões totais de CO_2 estão diretamente relacionadas às escolhas de materiais convencionais e 79% aos materiais sustentáveis.

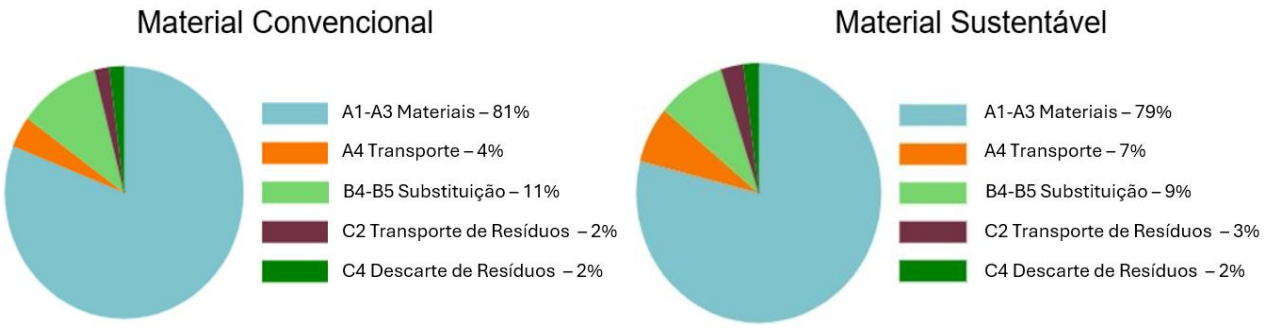


Figura 1: Carbono incorporado nos materiais – Materiais Convencionais x Sustentáveis.
Fonte: Adaptado de *One Click LCA* (2025).

A comparação entre os cenários evidencia que a escolha dos materiais tem papel central na redução dos impactos ambientais. Observa-se uma redução de mais de 36 mil kg de CO_2e ao substituir materiais convencionais por alternativas de menor impacto ambiental — uma queda de 42,36% nas emissões totais. As maiores contribuições para essa redução ocorreram nos grupos de estruturas horizontais e de outros elementos estruturais, que, juntos, concentraram a maior parte das emissões em ambos os modelos. Esses dados, organizados na Tabela 2, permitem compreender com mais clareza como a composição dos materiais impacta diretamente o desempenho ambiental da edificação, evidenciando diferenças relevantes entre os dois cenários propostos.

Material	Grupo/Categoria	Emissão kg CO_{2e} Convencional		E missão kg CO_{2e} Sustentável	
Laje	3 - Estruturas Horizontais: vigas, pisos e coberturas	45.811,46	49,07%	28.192,87	52,38%
Piso Frio					
Piso Quente					
Cascalho					
Contrapiso					
Vigas					
Escadas	4 - Outras Estruturas e materiais	39.290,78	42,08%	18.581,89	34,53%
Tijolos					
Argamassa de Assentamento					
Argamassa de Revestimento					
Piscina	5 - Áreas Externas e Elementos do Terreno	3.583,35	3,84%	3.053,54	5,67%
Sapata	1 - Fundação e subestrutura	3.267,99	3,50%	2.784,81	5,17%
Pilar	2 - Estruturas Verticais e Fachada	1.415,21	1,52%	1.205,97	2,24%
Total		**93.368,78**		**53.819,07**	

Tabela 2: Quantificação da emissão de CO_2 por grupo – Materiais Convencionais x Sustentáveis.
Fonte: os autores (2025).

A comparação entre os dois cenários, conforme a Tabela 2, evidencia o impacto expressivo que as escolhas de materiais exercem sobre a pegada de carbono de uma edificação. A substituição de concreto por versões com maior teor de ligantes reciclados, o uso de piso vinílico em vez de laminado, e o emprego de blocos celulares no lugar de tijolos de barro contribuíram decisivamente para a redução global das emissões. Dentre as estratégias adotadas, a introdução de RCA no contrapiso e de cascalho triturado em áreas externas também colaborou com essa redução, ao reutilizar resíduos e reduzir a necessidade de extração de novos materiais. A substituição da argamassa tradicional por argamassa de gesso nos revestimentos também se mostrou eficiente, uma vez que seu processo de produção demanda temperaturas mais baixas, resultando em menor consumo energético e, consequentemente, menor emissão de CO_2.

Os dados revelam uma queda de 42,36% nas emissões totais, de 93.368,78 kg CO_2e para 56.869,75 kg CO_2e. Essa diferença é apresentada na Figura 2, que sintetiza os ganhos obtidos com a substituição de materiais. Os resultados reforçam o potencial das estratégias sustentáveis na mitigação das emissões associadas à construção civil, sobretudo quando aplicadas com o suporte de ferramentas como o BIM e a ACV.

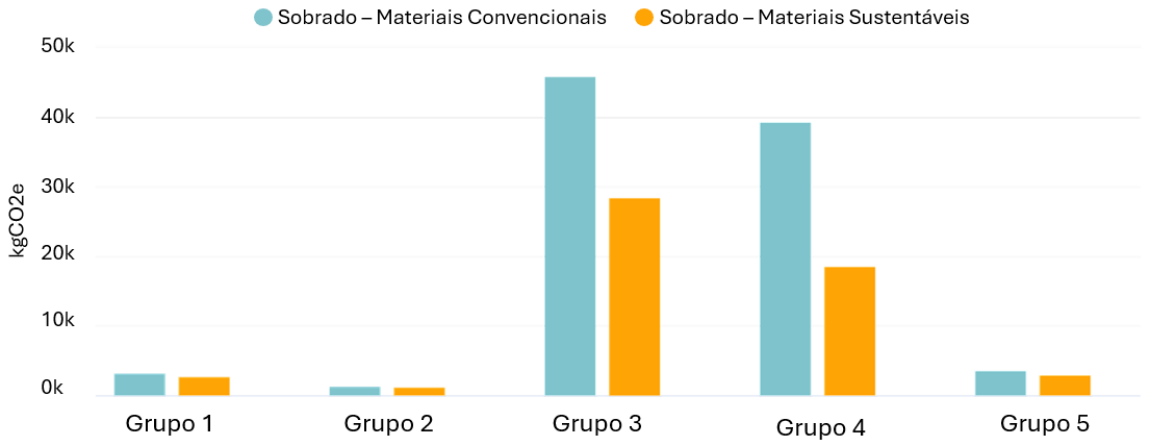


Figura 2: Materiais Convencionais x Materiais Sustentáveis.
Fonte: Adaptado de One Click LCA (2025).

A análise evidencia que, mesmo sem alterações no projeto arquitetônico, a simples escolha por materiais de menor impacto ambiental pode gerar reduções substanciais na pegada de carbono. O cenário sustentável analisado demonstra, portanto, a viabilidade técnica e ambiental da adoção de soluções construtivas mais responsáveis, alinhando o setor da construção às metas globais de neutralidade climática.

5. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a integração entre BIM e ACV é uma estratégia eficaz para reduzir as emissões de carbono na construção civil, setor historicamente intensivo em recursos e energia. A partir da modelagem no Revit (Autodesk, 2024) e da análise via *One Click LCA* (*One Click LCA*, 2024), foi possível quantificar os impactos ambientais dos insumos com precisão, fornecendo uma base técnica robusta para decisões mais sustentáveis. Os resultados apontaram uma redução de 42,36% nas emissões no cenário sustentável, mesmo sem alterações no projeto arquitetônico. A substituição de materiais de alta pegada de carbono — como o concreto convencional, os tijolos de barro e os pisos laminados — por alternativas como blocos celulares, pisos vinílicos, concretos com ligantes reciclados e argamassas de gesso teve papel fundamental nesse desempenho. O uso de reciclados, como o RCA no contrapiso, e estratégias baseadas na economia circular reforçam o potencial transformador dessas escolhas.

Destaca-se que a análise realizada teve como escopo o ciclo “do berço ao portão”, contemplando apenas a etapa de produção. Ainda assim, os ganhos ambientais foram significativos. A ampliação para o ciclo “do berço ao berço”, incluindo uso, manutenção e reinserção dos materiais, poderia revelar benefícios ainda maiores e mais alinhados à lógica circular. Ressalta-se, contudo, a limitação do *One Click LCA* (*One Click LCA*, 2024) para o contexto brasileiro, dada a escassez de dados regionais. A personalização da base com informações locais tornaria as análises mais precisas e aderentes à realidade nacional.

Portanto, a incorporação de políticas de Carbono Zero, aliada ao uso de BIM e ACV, oferece uma abordagem consolidada para promover a sustentabilidade na construção. Estudos futuros devem expandir o escopo analítico para abranger todo o ciclo de vida e integrar dimensões sociais, econômicas e logísticas, alinhando o setor aos princípios ESG (Environmental, Social, and Governance) e às demandas de um desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

Além da redução nas emissões de carbono, é importante destacar que a escolha de materiais sustentáveis também pode trazer benefícios adicionais relacionados à durabilidade, ao desempenho técnico, à manutenção e ao destino no pós-obra. Materiais como blocos celulares de concreto, pisos vinílicos e argamassas de gesso, além de apresentarem menor pegada de carbono, tendem a exigir menos manutenções ao longo da vida útil da edificação devido à sua maior uniformidade e resistência à umidade e fissuras. O desempenho térmico e acústico desses materiais, quando adequadamente especificado, contribui para maior conforto ambiental e eficiência energética. Do ponto de vista do pós-uso, muitos dos materiais adotados no cenário sustentável, como o agregado reciclado de concreto (RCA) e o cascalho triturado, podem ser reutilizados ou reciclados ao fim da vida útil do edifício, favorecendo a circularidade. Assim, a substituição de materiais convencionais não apenas reduz impactos na fase de produção, mas amplia os ganhos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida da construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. C. *et al*. Economia circular na construção civil: análise das práticas adotadas em obras brasileiras. **Revista Ambiente Construído**, v. 22, n. 1, p. 73-88, 2022.

AUTODESK. **Revit**. 2024. Disponível em: https://www.autodesk.com/products/revit/overview.

BORTOLINI, R. *et al*. Lifecycle assessment and BIM integration: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 349, 2022.

BUENO, C.; FABRICIO, M. M. Aplicação da modelagem de informação da construção (BIM) para a realização de estudos de avaliação de ciclo de vida de edifícios. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 23, n. 40, p. 96–121, 2016. DOI: 10.11606/issn.2317-2762.v23i40p96-121.

CABEZA, L. F. *et al*. Life cycle assessment (LCA) and its contribution to sustainable buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 135, 2021.

CARVALHO, M. T. *et al*. Aplicação de princípios de economia circular na construção civil brasileira. **Revista Engenharia Civil**, v. 31, n. 1, p. 45–62, 2023.

CHEN, C. *et al*. Circular economy and building design: A life cycle perspective. **Sustainability**, v. 13, 2021.

COSTA, M. C. *et al*. Integração entre ACV e BIM como ferramenta de decisão para edificações sustentáveis. **Revista Ambiente Construído**, v. 23, n. 2, p. 67–83, 2023.

DIXIT, M. K. Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 390–413, 2021.

DURMISEVIC, E. *et al*. Circularity in buildings: A design framework for adaptable and reusable components. **Journal of Building Engineering**, v. 32, 2020.

FAVA, J. *et al*. Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 27, n. 4, p. 476–490, 2022.

GODOI, C. B. Simulação energética com BIM: Aplicação de IFC e INI-R para avaliação do desempenho térmico. **Revista Tecnologia e Construção Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 30–44, 2023.

GONÇALVES, F. J. Aplicação de geopolímeros e concretos com adições recicladas na construção civil. **Revista Brasileira de Construção Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 21–36, 2023.

GONÇALVES, F. J. *et al*. Estudos de materiais sustentáveis aplicados em edificações certificadas EDGE. **Revista Ambiente Construído**, v. 23, n. 4, p. 89–102, 2023.

GONZÁLEZ, M. J. *et al*. Low-carbon construction: Comparative environmental assessment of building materials. **Energy and Buildings**, v. 253, 2022.

GURSEL, A. P. *et al*. Embodied carbon and energy in construction materials: A review. **Environmental Science & Technology**, v. 57, n. 3, p. 1562–1576, 2023.

IEA. **Tracking Clean Energy Progress 2023**. Paris: International Energy Agency, 2023.

ISO 14040. **Environmental management** — Life cycle assessment — Principles and framework. ISO, 2022.

JALAEI, F. *et al*. BIM-integrated LCA framework for high-performance buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 75, p. 103389, 2022.

MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F. Sustentabilidade e economia circular na construção civil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, n. 2, p. 245–260, 2023.

MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F. Economia circular aplicada à construção: oportunidades e desafios. **Revista Gestão & Sustentabilidade**, v. 11, n. 1, p. 12–25, 2022.

ONE CLICK LCA. **One Click LCA**. 2024. Disponível em: https://www.oneclicklca.com.

ORTEGA, N.; PINTO, L. Desempenho ambiental na construção: um panorama atual. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 16, n. 3, p. 90–110, 2020.

PINT0, L. R. *et al*. Modelagem integrada de sustentabilidade em projetos de arquitetura. **Revista Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 2, p. 99–115, 2022.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. Comparing buildings and building stocks with LCA: A review. **Building and Environment**, v. 221, p. 109302, 2023.

RAHIMI, A. *et al*. Comparative LCA of conventional vs. low-impact building materials. **Journal of Environmental Management**, v. 288, 2021.

RAMAGE, M. H. *et al*. The wood from the trees: The use of timber in construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 333–359, 2021.

REHMAN, M. S. *et al*. Material selection for sustainable buildings: Integrating ACV and circular economy. **Journal of Building Engineering**, v. 45, 2023.

RÍOS, M. *et al*. Aplicação integrada de BIM e ACV para otimização ambiental de projetos. **Revista Ambiente Construído**, v. 23, n. 1, p. 41–60, 2023.

SANTOS, R. G. *et al*. Desafios e soluções para a construção sustentável no Brasil. **Revista Tecnologia & Sociedade**, v. 16, n. 1, p. 19–34, 2020.

SANTOS, R. G. *et al*. Redução da pegada de carbono com geopolímeros e materiais alternativos. **Revista Construção Sustentável**, v. 15, n. 2, p. 47–60, 2023.

SILVA, A. R. *et al*. Concretos verdes e redução de CO_2 na construção civil. **Revista Tecnologia e Construção Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 22–39, 2022.

SILVA, A. R. *et al*. Bases de dados ambientais e a aplicação da ACV no Brasil. **Revista Brasileira de Construção Sustentável**, v. 13, n. 1, p. 35–51, 2023.

TAJANI, F. *et al*. Sustainability in civil engineering: An overview. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 9, n. 1, p. 73–85, 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Future of Construction: A Global Forecast for 2030**. Geneva: WEF, 2024.

ZHANG, Y. *et al*. Sustainable material choices in buildings: A review of recent advances. **Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 1987, 2023.

ZHANG, Y. *et al*. Carbon footprint assessment of green building materials: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123–139, 2022.

ZHOU, D. *et al*. Evaluation of building materials for carbon reduction. **Energy Reports**, v. 7, p. 4381–4395, 2021.