

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

NIVALDO DE CASTRO SANTOS JÚNIOR

**FERRAMENTAS BIM NA AVALIAÇÃO DO CARBONO INCORPORADO E
OPERACIONAL: ESTUDO DE CASO COM O AUTODESK INSIGHT NO IFTO –
CAMPUS PALMAS**

PALMAS

2026

NIVALDO DE CASTRO SANTOS JÚNIOR

**FERRAMENTAS BIM NA AVALIAÇÃO DO CARBONO INCORPORADO E
OPERACIONAL: ESTUDO DE CASO COM O AUTODESK INSIGHT NO IFTO –
CAMPUS PALMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Liliane Flávia Guimarães da Silva

PALMAS

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

J95f Júnior, Nivaldo de Castro Santos
FERRAMENTAS BIM NA AVALIAÇÃO DO CARBONO
INCORPORADO E OPERACIONAL: ESTUDO DE CASO COM O
AUTODESK INSIGHT NO IFTO – CAMPUS PALMAS / Nivaldo de
Castro Santos Júnior. – Palmas, TO, 2026.
55 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2026.

Orientadora: Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva

1. Análise de carbono. 2. sustentabilidade. I. Silva, Liliane Flávia
Guimarães da. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

NIVALDO DE CASTRO SANTOS JÚNIOR

FERRAMENTAS BIM NA AVALIAÇÃO DO CARBONO INCORPORADO E OPERACIONAL: ESTUDO DE CASO COM O AUTODESK INSIGHT NO IFTO – CAMPUS PALMAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Liliane Flávia Guimarães da Silva

Aprovado em: 18 / 05 / 2026

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **LILIANE FLAVIA GUIMARAES DA SILVA**
Data: 08/08/2026 17:32:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Liliane Flávia Guimarães da Silva
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **OCTAVIANO SIDNEI FURTADO**
Data: 07/08/2026 10:31:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Octaviano Sidnei Furtado
Avaliador

Documento assinado digitalmente
 **MICHELLE LUDMILA GUEDES DOS SANTOS**
Data: 07/08/2026 14:40:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra^a Michelle Guedes dos Santos
Avaliadora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por toda a honra e glória, por sempre estar comigo me iluminando, guiando os meus passos e me agraciando com sabedoria para ultrapassar todos os obstáculos ao longo do curso.

Aos meus pais Nivaldo e Neuzilene, minha eterna gratidão por todo o apoio, não só financeiro, mas também por todo suporte emocional mesmo que a distância. A ausência do convívio diário, dos momentos em família e da proximidade foi um dos maiores desafios dessa jornada. Ainda assim, o incentivo constante e o esforço de vocês foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus irmãos, Nilton e Nilene, obrigado por cada palavra de incentivo, pelas conversas nos momentos difíceis, pelas “puxadas de orelha” quando eu precisava e por nunca me deixarem desistir. Vocês foram essenciais nessa caminhada, me motivando, me dando forças e acreditando em mim até quando eu mesmo duvidava.

À minha orientadora, Prof. Dra. Liliane, meu sincero agradecimento pela orientação, paciência, dedicação e por compartilhar seu conhecimento de forma tão generosa durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação, deixo minha gratidão pelos ensinamentos, pela dedicação e por contribuírem para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos amigos que estiveram presentes durante essa trajetória, obrigado pela parceria, apoio e pelos momentos que tornaram essa caminhada mais leve.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão desta etapa tão importante da minha vida.

RESUMO

Nos últimos anos, a busca por edificações mais sustentáveis tem impulsionado o uso de ferramentas digitais capazes de quantificar os impactos ambientais associados às construções. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o carbono incorporado e o carbono operacional em um bloco de salas de aula do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, por meio da utilização da ferramenta Autodesk Insight Carbon Analysis integrada ao software Revit. A metodologia adotada baseou-se na modelagem da edificação e na vinculação dos elementos construtivos a dados de emissão de dióxido de carbono (CO₂). A análise permitiu quantificar a intensidade de emissões em kgCO₂e. Os resultados evidenciaram que o total de emissões da edificação está diretamente relacionado à escolha dos materiais e sistemas construtivos, destacando a importância de decisões projetuais mais conscientes ainda nas fases iniciais. Além disso, o estudo contribui para a compreensão do uso dessa ferramenta na avaliação do desempenho ambiental de edificações, auxiliando na tomada de decisões mais sustentáveis no setor da construção civil.

Palavras-chave: Análise de carbono. Revit. Insight Carbon Analysis. Sustentabilidade.

ABSTRACT

In recent years, the search for more sustainable buildings has driven the use of digital tools capable of quantifying the environmental impacts associated with constructions. In this context, the present study aims to analyze the embodied carbon and operational carbon in a classroom block at the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Tocantins, Palmas Campus, thru the use of the Autodesk Insight Carbon Analysis tool integrated with the Revit software. The adopted methodology was based on the modeling of the building and the linking of the constructive elements to carbon dioxide (CO₂) emission data. The analysis allowed for the quantification of emission intensity in kgCO₂e. The results showed that the total emissions of the building are directly related to the choice of materials and construction systems, highlighting the importance of more conscious design decisions even in the early stages. Furthermore, the study contributes to the understanding of the use of this tool in the evaluation of the environmental performance of buildings, aiding in making more sustainable decisions in the construction sector.

Keywords: Carbon analysis. Revit. Insight Carbon Analysis. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil	15
Figura 2 - Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) incorporadas em edifícios	17
Figura 3 – Ciclo de vida das edificações	19
Figura 4 – Fases de uma ACV	20
Figura 5 – Dimensões BIM	23
Figura 6 – Várias vistas simultâneas no Revit	24
Figura 7 – Detalhamento de parâmetros de uma parede no Revit.....	25
Figura 8 – Interface do Insight Carbon Analysis	26
Figura 9 – Mapa de localização do IFTO.....	29
Figura 10 – Perspectiva Isométrica do Bloco 16.....	29
Figura 11 - Planta do Pavimento Térreo	30
Figura 12 - Planta do Pavimento Superior	30
Figura 13 - Fachada da edificação.....	30
Figura 14 – Corte Longitudinal da edificação.....	30
Figura 15 - Corte Transversal da edificação	31
Figura 16 - Telhado (A) e Vista Lateral do bloco (B).....	32
Figura 17 - Configuração das propriedades termo físicas dos materiais.....	33
Figura 18 - Apresentação da interface do insight.....	36
Figura 19 - Métricas da intensidade do uso de energia	37
Figura 20 – Fatores.....	37
Figura 21 - Dados do carbono equivalente.....	38
Figura 22 - Alertas gerados pelo insight	39
Figura 23 - Ausência de dados no contexto brasileiro	40
Figura 24 – Valores de transmitância e capacidade térmica de sistemas construtivos	44
Figura 25 - Dados gerados pelo insight.....	46
Figura 26 - Elementos com maior taxa de CO ₂ e	48
Figura 27 – materiais com maior taxa de CO ₂ e.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados utilizados	35
Tabela 2 - Categorias para os tipos conceituais.....	41
Tabela 2 - Categorias para os tipos conceituais.....	42
Tabela 3 - Resultado das simulações	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Origem dos dados dos materiais	33
Quadro 2 - Caracterização dos elementos	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BIM	Building Information Modeling
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2e}	Dióxido de Carbono Equivalente
CPD	Centro de Processamento de Dados
DAP	Declaração Ambiental de Produto
EC3	Embodied Carbon in Construction Calculator
EUI	Energy Use Intensity (Intensidade de Uso de Energia)
HVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
kWh	Quilowatt-hora
kWh/m ²	Quilowatt-hora por metro quadrado
kgCO _{2e}	Quilograma de dióxido de carbono equivalente
LPD	Lighting Power Density (Densidade de Potência de Iluminação)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
GEE	Emissões de Gases do Efeito Estufa
CPD	Centro de Processamento de Dados
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CBECS	Commercial Buildings Energy Consumption Survey
EUI	Intensidade do Uso de Energia
LPD	Densidade de potência de iluminação
IP	Sistema Imperial de Unidades
SI	Sistema Internacional de Unidades

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROBLEMA DE PESQUISA	12
3 JUSTIFICATIVA.....	13
4 OBJETIVOS.....	14
4.1 Objetivo Geral	14
4.2 Objetivos Específicos.....	14
5 REVISÃO DE LITERATURA	15
5.1 Sustentabilidade na Construção Civil	15
5.1.1 O conceito de carbono incorporado e operacional em edificações	16
5.1.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada à arquitetura	18
5.2 Simulação computacional	21
5.3 Modelagem da Informação da Construção (BIM)	22
5.4 Autodesk Revit.....	23
5.5 Autodesk Insight Carbon Analysis	25
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	28
6.1 Tipo de Estudo.....	28
6.2 Objeto de Estudo	28
6.3 Levantamento de Dados.....	31
6.4 Configuração das propriedades dos materiais no modelo	32
6.5 Geração e configuração do modelo analítico de energia.....	34
6.6 Simulação com elementos detalhados.....	35
6.7 Simulação com tipos conceituais	41
6.8 Declaração de uso de IA Generativa.....	46
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com as emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) na atmosfera tem se intensificado, levando diversos setores a reavaliar seus impactos ambientais, incluindo o da construção civil. No caso das edificações, essas emissões estão associadas tanto ao consumo de energia durante sua fase de uso quanto aos materiais e processos empregados desde a etapa de construção. Nesse sentido, destacam-se os conceitos de carbono operacional e carbono incorporado, que representam, de forma complementar, as principais fontes de emissões ao longo do ciclo de vida das edificações.

A sustentabilidade de uma edificação é frequentemente associada à sua eficiência energética, isto é, à capacidade de atender às demandas operacionais com menor consumo de energia e melhor aproveitamento de recursos naturais, estando diretamente relacionada ao chamado carbono operacional. No entanto, outros fatores também são relevantes nesse contexto, como o carbono incorporado, que representa as emissões geradas ao longo do ciclo de vida dos materiais e exerce papel significativo nos impactos ambientais. A consideração conjunta desses fatores pode contribuir para o atendimento aos objetivos globais estabelecidos no acordo de Paris, que visa limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2°C para este século, buscando esforços para limitar o aumento a 1,5°C, conforme estabelecido pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, 2015).

De acordo com o relatório de Status Global para Edificações e Construção, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o setor da construção civil está entre os grandes contribuintes para o aquecimento global, em função das emissões excessivas de dióxido de carbono (CO₂). Em 2022, os edifícios foram responsáveis por 34% da demanda global de energia e por 37% das emissões de CO₂ (PNUMA, 2023).

Segundo Kozloski (2020), ações voltadas à mitigação dos impactos ambientais provocados pelas edificações têm sido implementadas mundialmente, não apenas com foco na redução do consumo energético durante a operação, mas também na diminuição das emissões de gases de efeito estufa ao longo de todo o ciclo de vida da construção, uma vez que os percentuais de energia e carbono incorporados vêm aumentando com a evolução dos sistemas construtivos.

Com o avanço da Modelagem da Informação da Construção (BIM), ferramentas integradas aos processos de projeto vêm se consolidando como aliadas na busca por soluções sustentáveis. Nesse contexto, destaca-se o Autodesk Insight Carbon Analysis, um recurso vinculado ao Revit que permite estimar o carbono operacional durante a fase de uso e o carbono incorporado dos materiais utilizados em uma edificação desde a fase inicial do projeto.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo Gomes (2018) a combinação de estratégias de projeto sustentável e BIM pode mudar as práticas tradicionais e produzir de forma eficiente um projeto de alto desempenho, mas ainda esbarra em dificuldades em relação aos softwares. Embora o uso do BIM esteja em expansão, ainda se enfrentam dificuldades para integrar ferramentas que permitam avaliar o impacto ambiental de suas edificações desde as fases iniciais de projeto. O acesso limitado a recursos tecnológicos, a ausência de capacitação técnica e a escassez de estudos aplicados dificultam a adoção de práticas mais conscientes e sustentáveis.

Nesse contexto, o Autodesk Insight Carbon Analysis se apresenta como alternativa viável para auxiliar profissionais e responsáveis na estimativa de emissões de carbono relacionadas aos materiais construtivos. No entanto, ainda são poucos os estudos que avaliam sua aplicabilidade em contextos reais por se tratar de uma ferramenta recente.

Diante disso, surge a seguinte questão: em que medida a ferramenta Autodesk Insight Carbon Analysis é eficaz para estimar o carbono incorporado e operacional em uma edificação educacional do IFTO, e como essa aplicação pode contribuir para a tomada de decisões mais sustentáveis no processo de projeto?

3 JUSTIFICATIVA

O Autodesk Insight Carbon Analysis é uma ferramenta desenvolvida pela Autodesk, voltada à avaliação do carbono incorporado e operacional de edificações de forma integrada ao modelo digital. A solução foi introduzida como uma nova abordagem para análise de desempenho ambiental, substituindo ferramentas anteriormente utilizadas pela empresa, como o Autodesk Insight Energy Analysis e o Green Building Studio (Autodesk, 2024).

Apesar de seu potencial, por se tratar de uma ferramenta recente, ainda são limitadas as avaliações práticas relacionadas à sua usabilidade, precisão e aplicabilidade em contextos reais de projeto. Em especial, observa-se uma carência de estudos que investiguem seu desempenho em cenários específicos, como o contexto brasileiro. Essa lacuna evidencia a necessidade de investigações que permitam compreender de forma mais aprofundada as potencialidades e limitações da ferramenta.

Nesse cenário, o presente trabalho se justifica pela aplicação prática dessa ferramenta no bloco 16 do IFTO – Campus Palmas, um edifício de certa forma representativo das tipologias construtivas adotadas na instituição. A escolha desse objeto de estudo permite avaliar o desempenho da ferramenta em uma situação real, considerando características construtivas típicas do contexto local. Além disso, a análise contribui para a compreensão do comportamento ambiental dessa edificação, possibilitando a identificação de aspectos relevantes relacionados às emissões de carbono.

Por fim, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre o uso de ferramentas BIM aplicadas à avaliação ambiental, especialmente no que se refere à análise de carbono no contexto brasileiro. Espera-se que os resultados obtidos possam auxiliar na formação de profissionais mais capacitados para o uso de recursos digitais para avaliação ambiental.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Avaliar a aplicabilidade da ferramenta Autodesk Insight Carbon Analysis na estimativa do carbono incorporado dos materiais construtivos, por meio de um estudo de caso aplicado a um bloco de salas de aula do Campus Palmas do IFTO – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins.

4.2 Objetivos Específicos

- Identificar os elementos construtivos com maior contribuição para a pegada de carbono da edificação;
- Propor alternativas com menor impacto ambiental;
- Estimular a integração entre tecnologia BIM e sustentabilidade, destacando o potencial do uso dessas ferramentas como o Insight no planejamento e monitoramento de edificações.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Sustentabilidade na Construção Civil

A busca por garantir ou melhorar a qualidade de vida precisa estar aliada a soluções que utilizem os recursos naturais de forma mais eficiente e causem menos impactos ao meio ambiente, fundamentadas em princípios éticos. Segundo Motta e Aguilar (2009), a sociedade busca um novo modelo de desenvolvimento que responda a estas questões, um novo paradigma definido como desenvolvimento sustentável. Os autores ainda afirmam que integração de práticas sustentáveis nos processos de projeto e construção é essencial para alcançar edificações de alto desempenho ambiental.

De acordo com Battagin (2019), o desenvolvimento sustentável não se restringe à gestão ambiental, mas exige a consideração equilibrada de três dimensões essenciais: o crescimento econômico, o respeito ao meio ambiente e a responsabilidade social, pilares indispensáveis para que objetivos mais amplos de sustentabilidade sejam efetivamente alcançados.

A implementação de práticas sustentáveis na construção civil está diretamente alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU). A imagem a seguir apresenta os 17 ODS adotados pelo Brasil como parte da Agenda 2030 (figura 1).

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil



Fonte: ONU Brasil (2025).

Dentre eles, destacam-se especialmente o ODS 7 – Energia limpa e acessível, ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis, ODS 12 – Consumo e produção responsáveis e ODS 13

– Ação contra a mudança global do clima, os quais estão intimamente relacionados às estratégias de construção sustentável e à promoção de um ambiente urbano mais eficiente, resiliente e de baixo impacto ambiental.

A economia circular inserida dentro desse contexto de sustentabilidade tem sido destacada como uma estratégia eficaz, que se refere a um modelo de produção e consumo que visa reduzir o desperdício, reutilizar materiais e otimizar o uso de recursos naturais, ao contrário do modelo tradicional linear (extrair → produzir → descartar). A adoção dos princípios da economia circular no âmbito construtivo é capaz de reduzir as emissões globais de CO₂ dos materiais de construção em cerca de 38% até 2050 (Ellen MacArthur Foundation, 2022).

5.1.1 O conceito de carbono incorporado e operacional em edificações

O Carbono Incorporado, refere-se à emissão de carbono pela produção, transporte, construção e instalação, até o fim de vida dos materiais e produtos de construção. Diferentemente do carbono operacional, que corresponde às emissões decorrentes do consumo de energia durante a fase de uso do edifício, como aquecimento, resfriamento, iluminação e operação de equipamentos.

Segundo Barbosa e Almeida (2021), esse conceito tem despertado um interesse crescente no ramo da construção civil, pois ela abrange todas as emissões de gases de efeito estufa produzidas durante a existência de um material ou construção, desde a retirada da matéria-prima até o seu descarte. Assim, a contabilização do carbono incorporado leva em conta todas as emissões geradas ao longo do ciclo de vida do material.

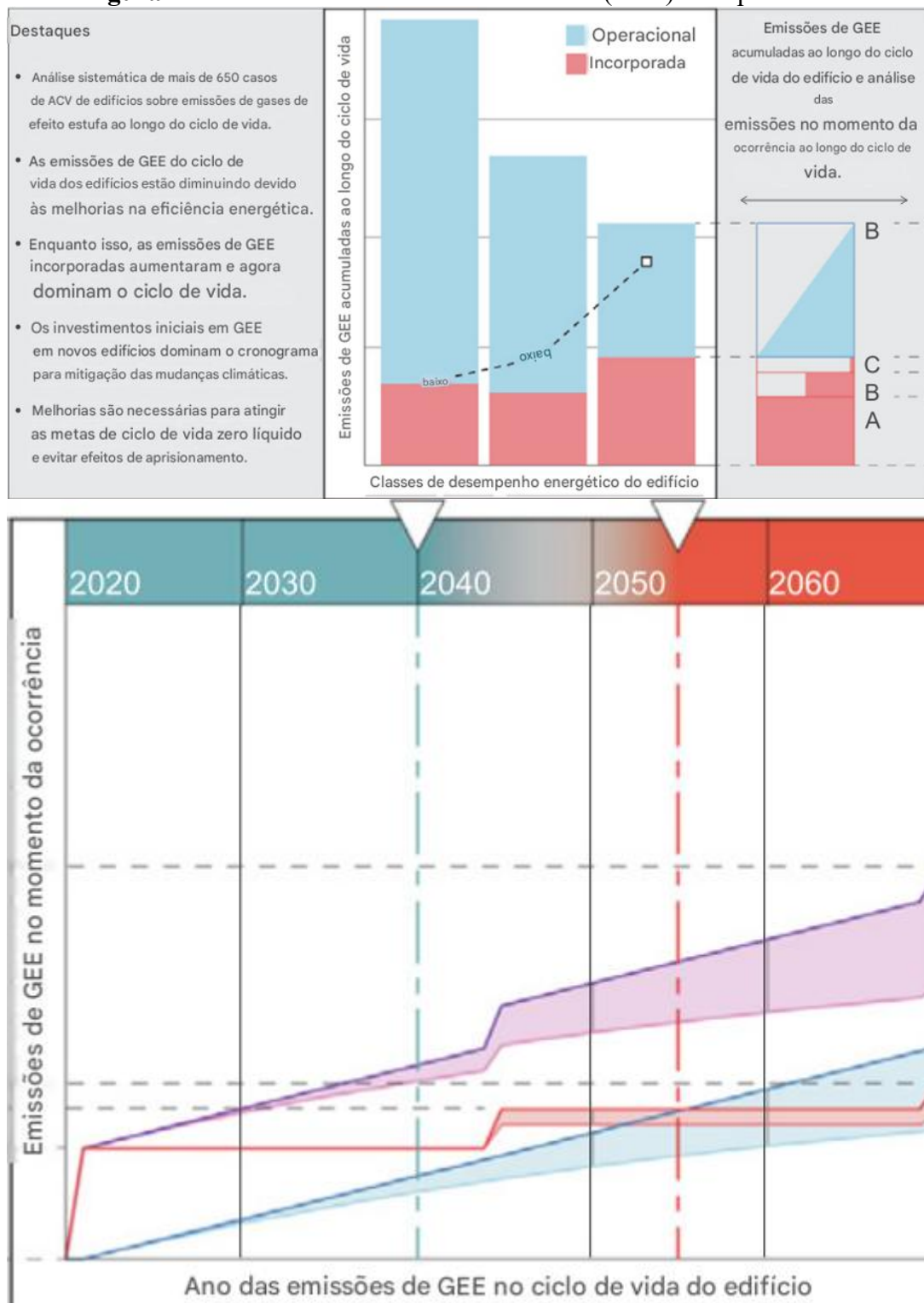
O concreto, por exemplo, principal material de construção utilizado no mundo, teve uma produção de 43 milhões de metros cúbicos no Brasil em 2022, segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC). Segundo Monteiro et al. (2016), estima-se que para cada metro cúbico de concreto produzido, são emitidos em média entre 240 e 320 kg de CO₂, sendo de 90% a 95% dessas emissões atribuídas exclusivamente à fabricação do cimento.

Em relação a eficiência energética, à medida que os edifícios se tornam mais eficientes em sua operação, a parcela correspondente ao carbono incorporado passa a representar uma fração ainda maior das emissões totais da edificação. Como exemplo, segundo Mourão e Bonaccorso, (2024), a instalação de vidros triplos num determinado edifício poderá torná-lo mais eficiente energeticamente, porém, as emissões causadas pela fabricação, transporte, instalação e tratamento em fim de vida destes vidros podem ser maiores que as emissões

evitadas pelo menor consumo energético. Esse fato evidencia a importância de considerar não apenas a fase de uso das edificações, mas também todas as etapas anteriores e posteriores ao seu funcionamento.

Logo abaixo podemos observar o gráfico (Figura 2) com essa relação.

Figura 2 - Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) incorporadas em edifícios



Fonte: Adaptado de Röck et al. (2020).

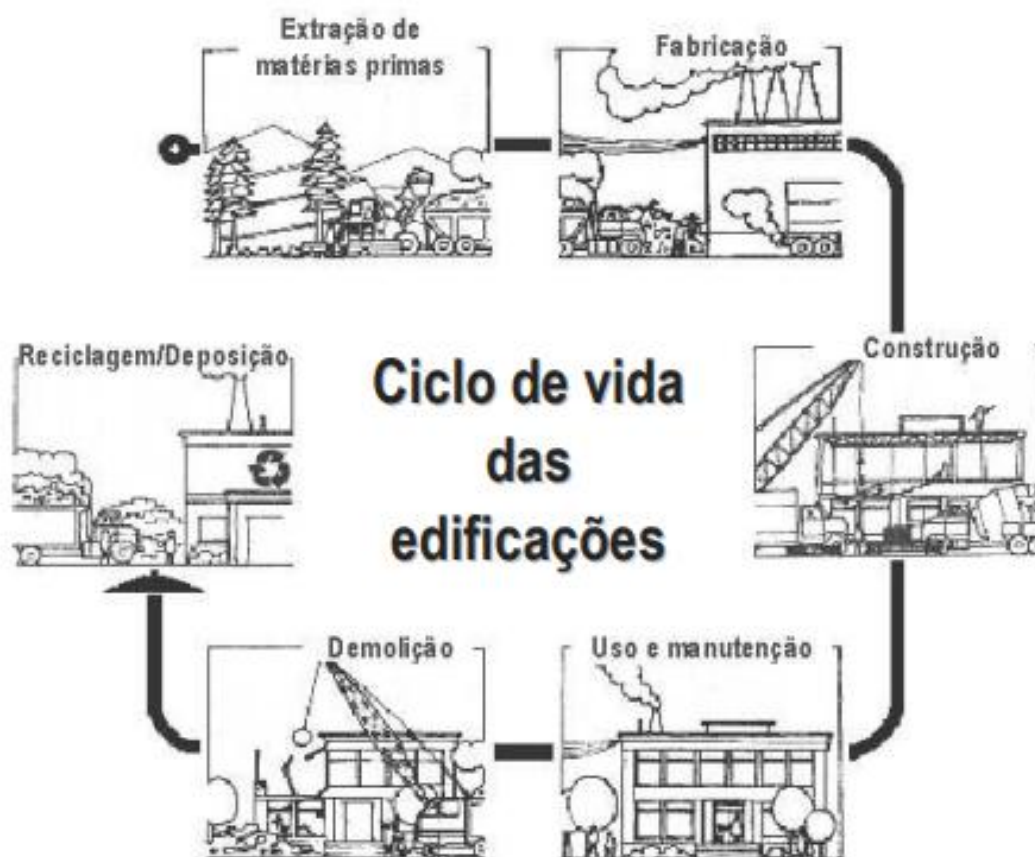
Do lado esquerdo notamos como a maior eficiência no uso de energia – obtida com um consumo maior de recursos, na sua maioria poluentes – baixou as emissões de CO₂ operacionais (maioritariamente ventilação, climatização, iluminação, etc.). Como consequência, as emissões associadas à construção (carbono incorporado) aumentaram tanto em números absolutos quanto em proporção. Do lado direito vemos como as emissões são repentinas na construção e renovação, e graduais durante o uso (Mourão; Bonaccorso, 2024).

5.1.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada à arquitetura

Segundo Oliveira (2007), ACV é um procedimento sistemático de gestão, utilizada para quantificar e avaliar os impactos que um produto ou material causa ao meio ambiente e sobre a saúde humana, desde a sua produção até a disposição final. Para Mourão e Bonaccorso (2024), a ACV de um edifício, portanto, é atualmente o método estabelecido para avaliar emissões e outros poluentes emitidos na atmosfera.

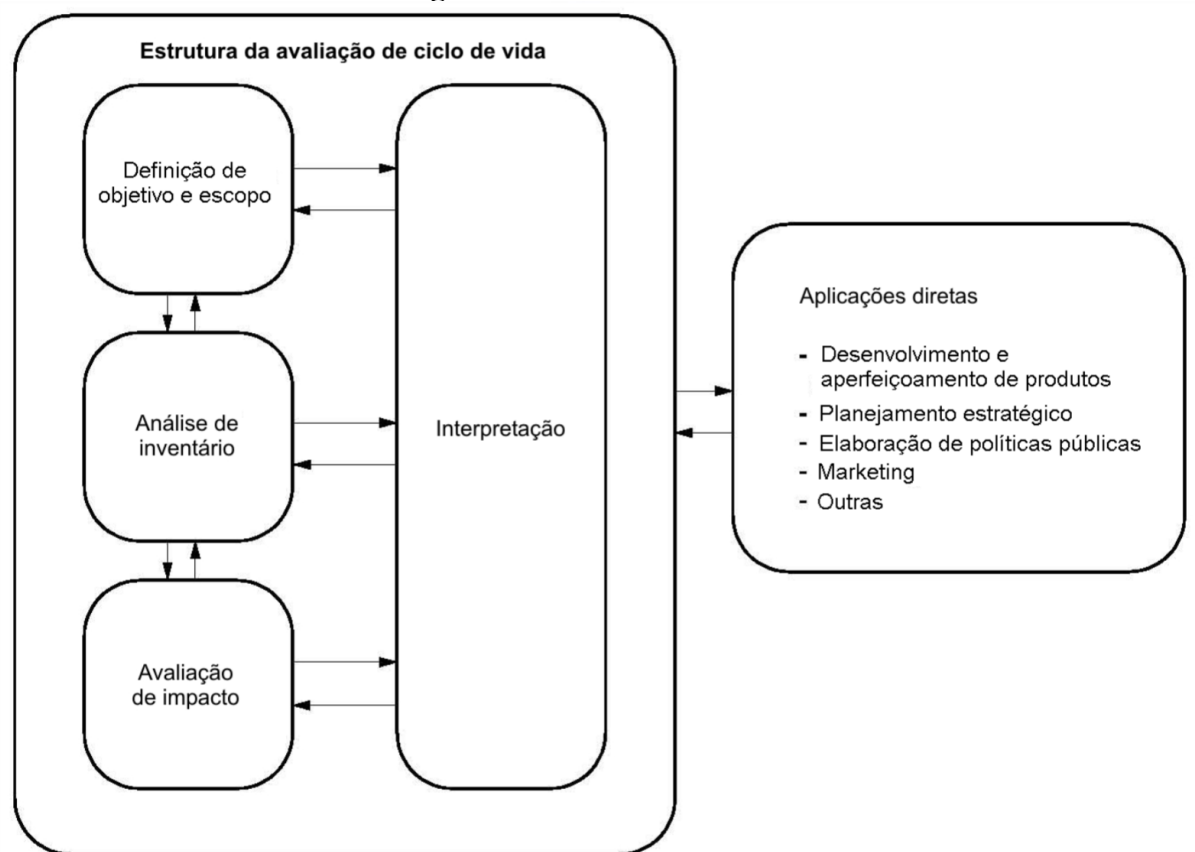
Esse método possui base científica e foi padronizada internacionalmente na década de 1990 pelas normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (ABNT, 2025). Essas normas estabelecem os princípios, a estrutura metodológica, as diretrizes e os critérios necessários para a análise dos impactos ambientais. Segundo Röck et al. (2020), a aplicação da ACV foi facilitada na indústria da construção, já que cada vez mais, os fabricantes de produtos de construção publicam dados de ACV para seus produtos usando Declarações Ambientais de Produto (DAP) e outros formatos, cujo estabelecimento segue padrões das normas. A Figura 3, a seguir, exemplifica o ciclo de vida das edificações.

Figura 3 – Ciclo de vida das edificações.



Fonte: Tavares (2006)

De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2025), A ACV é dividida em quatro fases fundamentais. a saber: (1) Definição de Objetivos e Escopo, (2) Análise de Inventário, (3) Avaliação de Impacto e (4) Interpretação. A relação entre elas está exemplificada na imagem da Figura 4.

Figura 4 – Fases de uma ACV

Fonte: NBR ISO 14040 (ABNT, 2025, p. 8).

A primeira etapa (1) Definição de Objetivos e Escopo estabelece o propósito de estudo, devendo ser realizada de forma clara e sem possibilidade de interpretações ambíguas. Segundo Sousa (2008), essa fase considera aspectos fundamentais como a aplicação pretendida, os motivos que justificam a realização do estudo, o público-alvo e a finalidade dos resultados, além de avaliar se esses resultados serão utilizados em declarações públicas comparativas.

Análise de Inventário (2): Consiste na coleta e quantificação do uso de recursos primários e secundários e as respectivas emissões geradas ao longo de todo o ciclo de vida, definido na etapa anterior (Tavares, 2006). É uma etapa essencialmente quantitativa, que serve de base para as fases seguintes.

Avaliação do Impacto (3): para Tavares (2006), é considerada a etapa mais polêmica de uma ACV. São desenvolvidos critérios para valorar os riscos e impactos ambientais associados aos fluxos identificados na análise de inventário. O objetivo é traçar um perfil de atuação do processo estudado, segundo categorias quantitativas ou qualitativas que seriam normalmente difíceis de mensurar. A determinação de valores concedidos aos efeitos considerados quase sempre contém um nível de pessoalidade, pois inclui opiniões afetadas por fatores morais, sociais e de costumes.

Interpretação (4): É a etapa final, na qual os resultados do inventário e da avaliação de impacto são analisados à luz dos objetivos definidos inicialmente. Essa fase identifica as principais fontes de impacto, avalia a qualidade dos dados e oferece conclusões e recomendações para tomada de decisão, sempre considerando as incertezas e limitações do estudo.

5.2 Simulação computacional

A simulação computacional tem se consolidado como uma ferramenta essencial na construção civil, permitindo a análise e otimização de processos reduzindo a necessidade de intervenções físicas. Essa abordagem possibilita a identificação de gargalos e a melhoria contínua dos sistemas de produção.

Além disso, a simulação computacional serve como suporte à tomada de decisão, permitindo que gestores avaliem diferentes cenários e escolham as melhores estratégias para a execução de projetos. Essa capacidade de prever e analisar resultados potenciais é fundamental para o sucesso de empreendimentos na área da construção.

No contexto do desempenho energético de edificações, a simulação computacional permite avaliar o comportamento térmico e o consumo de energia de um edifício ao longo do tempo. Isso é possível por meio da modelagem de diversos parâmetros, como materiais da envoltória, sistemas de climatização, iluminação e padrões de ocupação.

Segundo França et al. (2017), a simulação computacional possibilita estimar, de forma antecipada e mensurável, o desempenho energético de uma edificação, incluindo gastos e demanda de energia. Além disso, permite comparar diferentes estratégias de eficiência, avaliar as condições ambientais internas, analisar níveis de conforto térmico, mensurar emissões de CO₂ e verificar a viabilidade econômica das soluções adotadas ao longo do ciclo de vida do empreendimento.

Com o avanço da tecnologia, a simulação computacional se tornou uma grande aliada no processo de análise de edificações. Conforme aponta Oliveira et al. (2016) é preciso explorar os instrumentos de simulação computacional para promover a maior utilização dos recursos com menor consumo de energia, desde a concepção do projeto e avaliar após a construção e operação do edifício para criar sistemas de retroalimentação e buscar a melhoria contínua do processo de projeto.

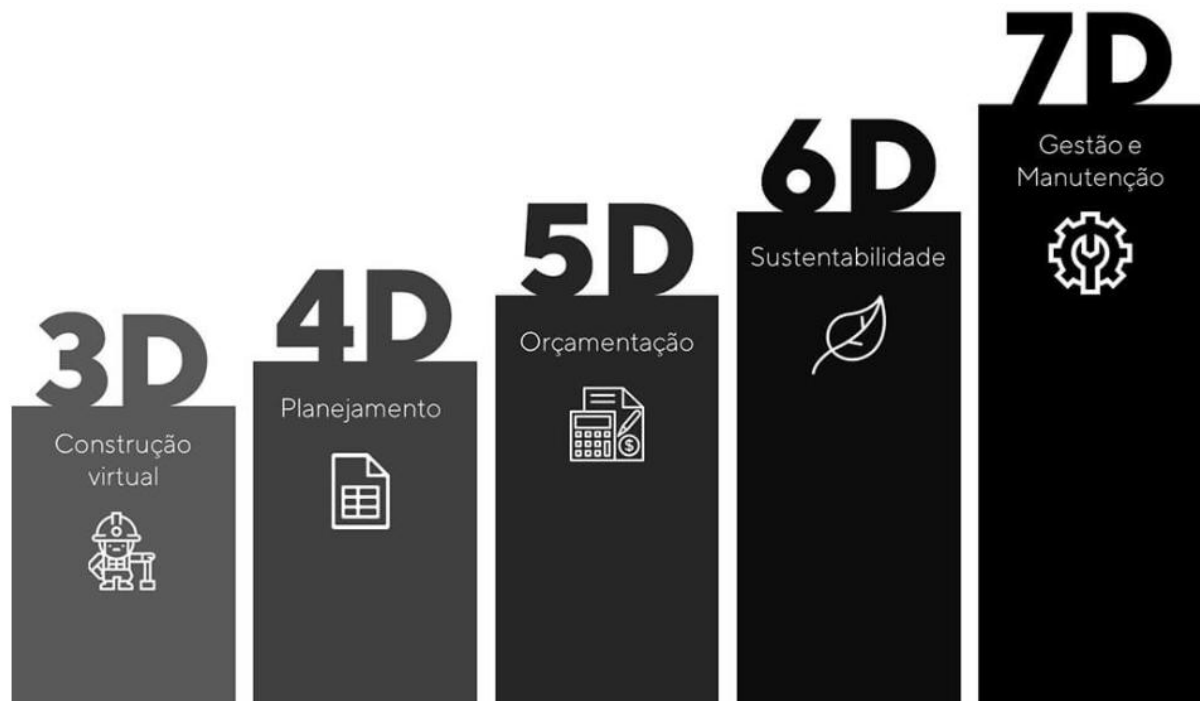
5.3 Modelagem da Informação da Construção (BIM)

O BIM representa uma das principais inovações tecnológicas no setor da construção civil. Segundo Ferreira et al. (2020), o BIM não se restringe apenas à representação tridimensional dos projetos arquitetônicos e estruturais. Trata-se de uma abordagem que integra um conjunto amplo de informações relacionadas à edificação, permitindo a representação digital tanto das características físicas quanto funcionais dos elementos construtivos. Além disso, essa tecnologia está alinhada à modernização dos métodos construtivos, acompanhando a tendência global de industrialização do setor.

A metodologia começou a ser pensada desde 1970, com a ideia de que o computador poderia melhorar todos os pontos fortes de desenhos e o primeiro uso documentado do termo Building Modeling ocorreu em 1986, no título de um artigo de Robert Aish, que já mencionava conceitos como "modelagem 3D, extração de desenhos automáticos, componentes paramétricos, bancos de dados e faseamento temporal dos processos construtivos" (BIMWORKS, 2020). Desde então, o desenvolvimento tecnológico permitiu que esses conceitos se consolidassem em plataformas amplamente utilizadas como Revit, ArchiCAD, Eberick e outras.

O BIM então evoluiu em etapas, chamadas de estágios de maturidade. Segundo a classificação apresentada, o BIM 1.0 corresponde à transição do 2D para o 3D; o BIM 2.0 envolve a colaboração parcial entre disciplinas e incorporação de dados como cronogramas e custos; já o BIM 3.0 representa a integração plena, onde os modelos são compartilhados em plataformas únicas e colaborativas (BIMWORKS, 2020).

De acordo com a Plus Arquitetura (2020), as informações presentes em um modelo BIM são estruturadas em diferentes dimensões, sendo que cada uma delas reúne um conjunto específico de dados. Essas dimensões têm como objetivo facilitar a compreensão do projeto de construção em todas as suas etapas, uma vez que organizam e vinculam informações detalhadas de forma integrada ao modelo. Na Figura 5, a seguir, podemos ver a exemplificação dessas dimensões e a que são atribuídas.

Figura 5 – Dimensões BIM

Fonte: Plus Arquitetura (2020).

A dimensão 6D está relacionada ao gerenciamento sustentável das edificações, principalmente nas etapas de operação, manutenção e uso, permitindo o acompanhamento das características sustentáveis da edificação, possibilitando a adoção de medidas que garantam maior eficiência e sustentabilidade do empreendimento. De acordo com a Plus Arquitetura (2020) essa dimensão calcula o custo de toda a vida útil de uma construção, a chamada avaliação da sustentabilidade.

5.4 Autodesk Revit

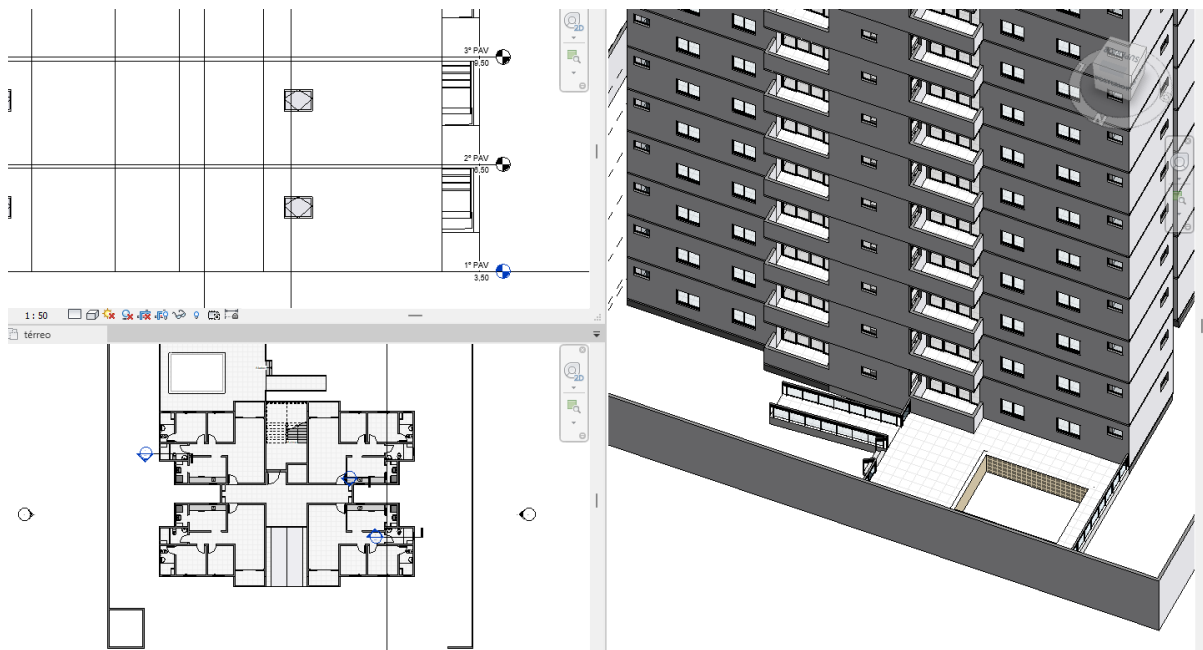
O Revit, desenvolvido em 1997 pela Charles River Software e adquirido em 2002 pela Autodesk, é um software amplamente utilizado na construção civil por operar com a metodologia BIM, baseada na modelagem tridimensional (3D) integrada a informações paramétricas dos elementos construtivos. Essa abordagem permite maior consistência, integração e confiabilidade dos dados ao longo do desenvolvimento do projeto. Nesse sentido, Justi (2008, p. 1 destaca que:

“A tecnologia BIM, encontrada em softwares paramétricos como o Revit (da Autodesk Inc.) e o Archicad (da Grafisoft Inc.), suportam a disponibilidade imediata e contínua de informações confiáveis, de alta qualidade e totalmente coordenadas sobre o escopo, quantificação e custo do projeto”.

O Revit permite a integração de informações provenientes de diferentes disciplinas em um único modelo digital, o que contribui para a identificação prévia de interferências e para a compatibilização entre os sistemas antes da execução da obra. A ferramenta possibilita a visualização simultânea de múltiplas vistas do projeto, permitindo observar os elementos sob diferentes ângulos. Esse recurso pode auxiliar na compreensão espacial durante o desenvolvimento do modelo tridimensional, evitando a necessidade de alternância constante entre janelas.

A Figura 6 ilustra a funcionalidade de visualização simultânea de vistas, destacando seu papel na coordenação e análise do projeto.

Figura 6 – Várias vistas simultâneas no Revit

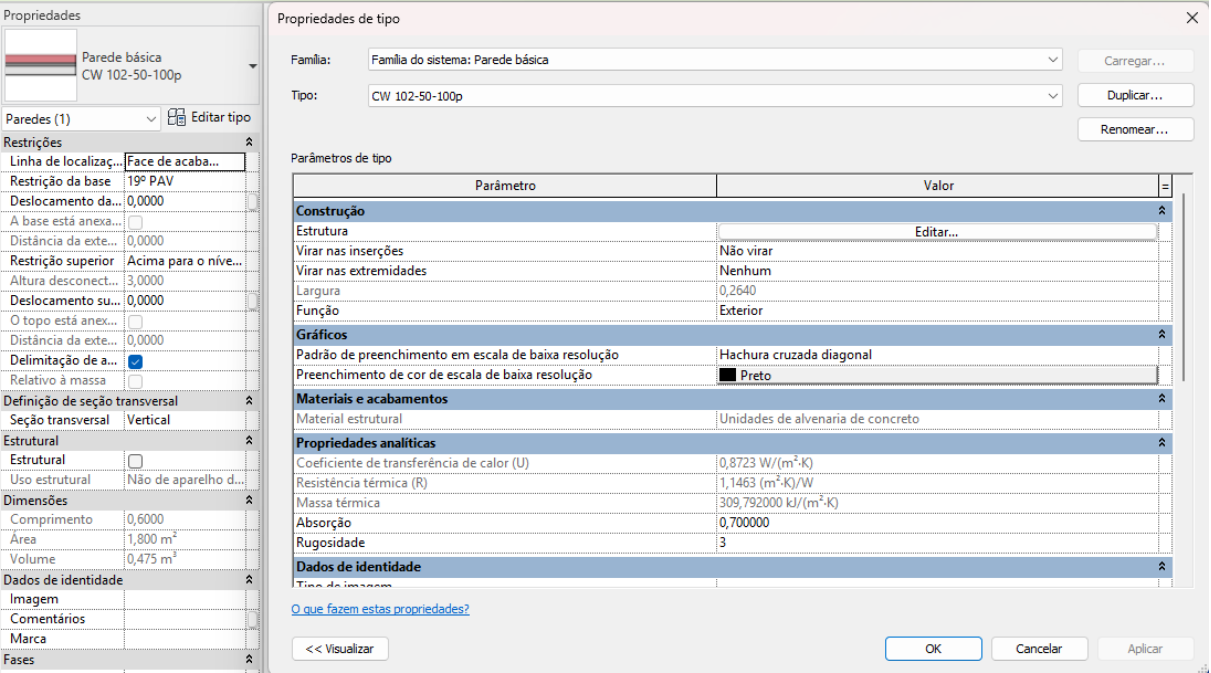


Fonte: Autoria própria (2025).

No Autodesk Revit também é possível a criação de modelos virtuais tridimensionais com informações detalhadas sobre cada elemento construtivo, como materiais, dimensões, aberturas e propriedades termo físicas. Dessa forma, os elementos não são representados apenas por linhas bidimensionais, mas são modelados com características que se aproximam de suas condições reais. O modelo resultante extrapola a representação geométrica, constituindo-se como uma base de dados integrada do projeto. Essas informações podem ser utilizadas para diversas finalidades, incluindo simulações de eficiência energética.

A Figura 7a seguir mostra as propriedades detalhadas de uma parede modelada no Revit. É possível visualizar informações como materiais, dimensões, função, características térmicas e outros dados que integram o modelo tridimensional ao banco de dados do projeto.

Figura 7 – Detalhamento de parâmetros de uma parede no Revit



Fonte: Autoria própria (2025).

O software é oneroso, porém conta com uma licença estudantil, disponibilizada gratuitamente para fins educativos destinada para estudantes, professores e instituições que buscam ensinar e aprender o uso da ferramenta. Essa licença possui limitações em relação ao uso comercial, sendo voltada exclusivamente a fins acadêmicos.

5.5 Autodesk Insight Carbon Analysis

A arquitetura está cada vez mais ligada à sustentabilidade e com isso, surgiram várias ferramentas para nos ajudar a medir o impacto ambiental das construções durante toda a sua vida útil. Entre essas ferramentas, destaca-se o Autodesk Insight – Carbon Analysis, um recurso integrado ao Autodesk Revit que permite estimar as emissões de carbono incorporado dos materiais utilizados no projeto assim como o carbono operacional da edificação (Autodesk, 2024b).

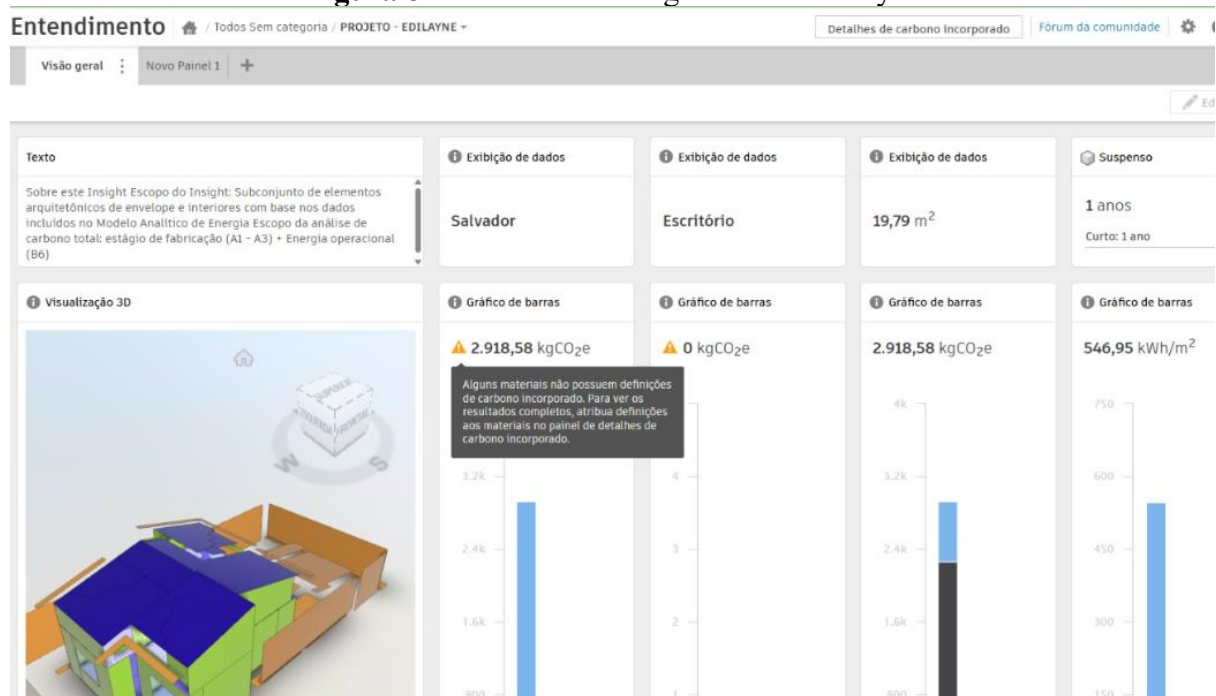
Ao contrário de ferramentas voltadas à simulação energética operacional, o Carbon Analysis tem foco específico nas emissões de carbono associadas à extração, fabricação, transporte, instalação, manutenção e descarte de materiais de construção.

A análise ocorre por meio da exportação do modelo BIM do Revit para o Autodesk Insight, onde o plugin identifica os materiais e componentes utilizados no edifício, compara com dados da EC3 (*Embodied Carbon in Construction Calculator*), e calcula as emissões estimadas de carbono para cada categoria de material, incluindo estruturas, paredes, pisos, coberturas e acabamentos. Os dados podem ser mais precisos ainda por meio da seleção de materiais específicos de fabricantes cadastrados, permitindo maior precisão e rastreabilidade.

O EC3 é um banco de dados gratuito de DAP de materiais de construção, utilizado para a especificação e aquisição de produtos. A ferramenta possibilita que os usuários acessem as DAPs disponíveis, comparem produtos e materiais, e estimem reduções realizadas ou potenciais com base nas quantidades previstas de material. O banco de dados contempla materiais para sistemas estruturais, elementos de vedação e um número crescente de componentes internos e outros produtos (Carbon Leadership Forum, 2024).

A interface do Insight Carbon Analysis (Figura 8) é acessada via navegador, e exibe painéis interativos com diagramas de barra, indicadores de intensidade de carbono ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$) e filtros por tipo de elemento. A navegação entre os resultados é intuitiva, e permite ao projetista avaliar rapidamente o impacto de diferentes decisões projetuais.

Figura 8 – Interface do Insight Carbon Analysis



Fonte: Autoria própria (2025)

É importante salientar que o Autodesk Insight Carbon Analysis não realiza simulações relacionadas ao desempenho térmico ou à iluminação natural das edificações. Essas funcionalidades estavam presentes no Insight 360 (seu antecessor), que foi descontinuado. Com isso, a análise energética operacional, como o consumo de energia para aquecimento, resfriamento, ventilação e iluminação, deixou de ser integrado diretamente ao Revit por meio do Insight. Atualmente, o foco do *Insight Carbon Analysis* está voltado na avaliação do carbono incorporado e operacional.

A utilização do *Insight Carbon Analysis* contribuirá diretamente para o cumprimento dos ODS 11 e 13, ao analisar e viabilizar práticas construtivas mais conscientes e quantificáveis.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

6.1 Tipo de Estudo

A presente pesquisa adotará uma abordagem metodológica que integra métodos quantitativos e qualitativos para a análise de carbono incorporado na edificação. O estudo seguirá um roteiro estruturado por etapas, partindo da seleção do objeto de análise até a interpretação dos dados simulados.

6.2 Objeto de Estudo

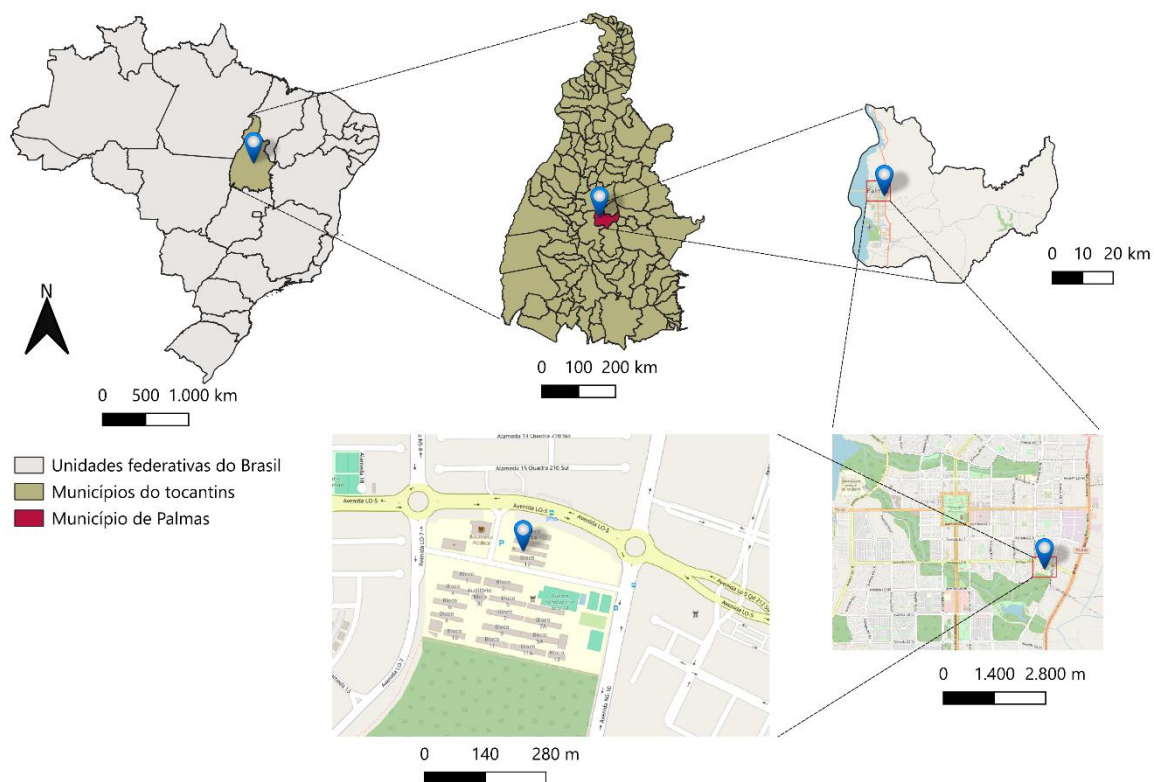
O Objeto de estudo trata-se do bloco 16 do IFTO Campus Palmas. Instituição essa que, como um todo, atende aproximadamente 4 mil estudantes distribuídos em 36 cursos, e conta com 375 servidores, além de cerca de 75 colaboradores e estagiários (IFTO, 2025). A edificação está localizada na quadra 310 sul, Av. NS 10, S/N - Plano Diretor Sul, Palmas – TO (como representado pela Figura 9).

A cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, localizada na região Norte do Brasil caracteriza-se por Clima C2wA'a'' – clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica (Tocantins, 2012), com temperaturas elevadas durante grande parte do ano com estação seca e chuvosa bem definidas (Silva; Souza, 2017). Esse contexto climático impõe desafios específicos para o desempenho ambiental das edificações, o que necessita a adoção de práticas construtivas mais sustentáveis.

O Bloco 16 funciona no período matutino, vespertino e noturno, além das salas de aula localizadas no pavimento superior é composto por diversos ambientes funcionais, incluindo área de convivência dos estudantes, área de mesas da lanchonete, lanchonete/cozinha, circulação, sala dos professores, setor de patrimônio/manutenção, sanitários e uma sala de CPD – Centro de Processamento de Dados.

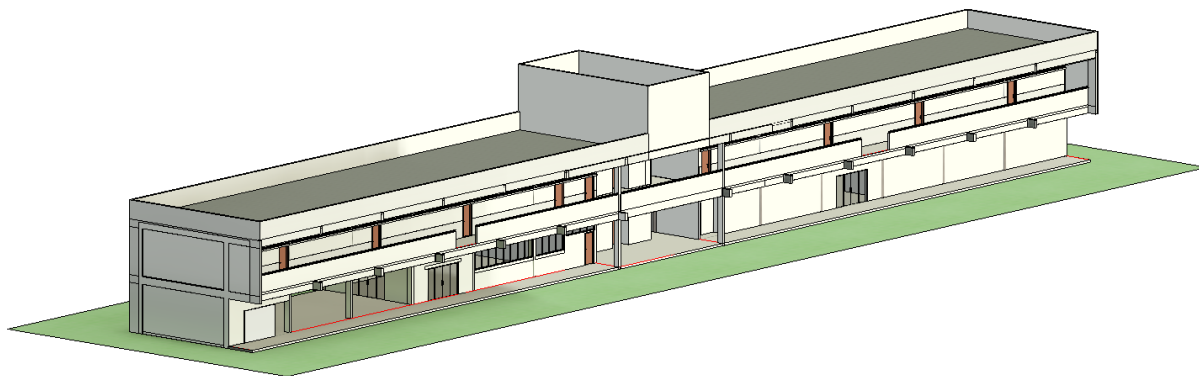
A edificação conta com elementos construtivos predominantes em alvenaria de bloco cerâmico, com acabamento em massa e pintura acrílica, e divisória interna das salas de aula de gesso acartonado e rodapé cerâmico. As esquadrias são em alumínio e vidro, e a cobertura com telhado de fibrocimento, com presença de platibanda. Na Figura 10, é possível visualizar a edificação em 3D, e o projeto arquitetônico nas Figura 11 a Figura 14.

Figura 9 – Mapa de localização do IFTO.

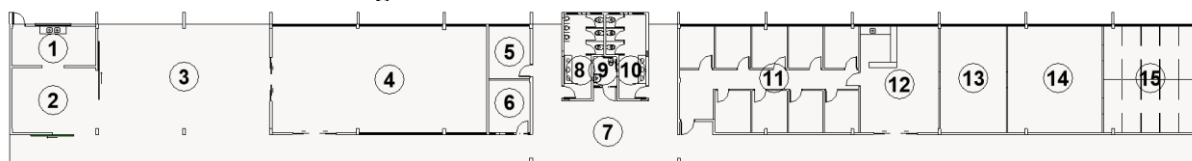
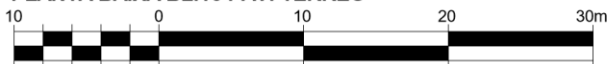


Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com dados do OpenStreetMap e IBGE.

Figura 10 – Perspectiva Isométrica do Bloco 16.



Fonte: Autoria própria (2025).

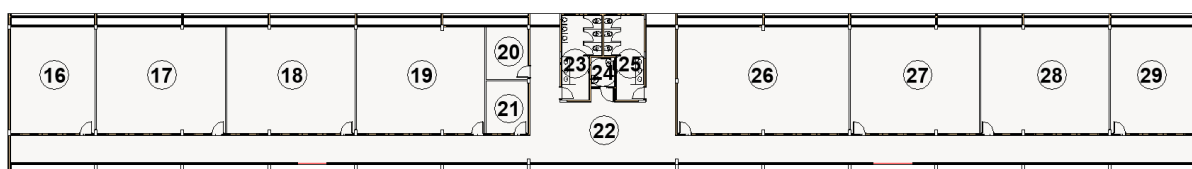
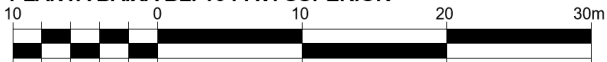
Figura 11 - Planta do Pavimento Térreo**PLANTA BAIXA BL.16 PAV. TÉRREO**

1	COZINHA LANCHONETE
2	LANCHONETE
3	ÁREA DE MESAS LANCHONETE
4	ÁREA DE CONVIVÊNCIA DOS ESTUDANTES

5	COORD. DE PATRIMÔNIO/MANUTENÇÃO
6	CPD
7	CIRCULAÇÃO
8	WC MASCULINO
9	WC PNE

11	ATENDIMENTO AO ALUNO
12	COPA E RECEPÇÃO SALA DOS PROFESSORES
13	ESCANINHOS
14	SALA DE TRABALHO
15	SALA DE FOCO

Fonte: Autoria própria (2025).

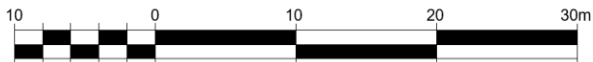
Figura 12 - Planta do Pavimento Superior**PLANTA BAIXA BL. 16 PAV. SUPERIOR**

16	SALA 1S
17	SALA 2S
18	SALA 3S
19	SALA 4S

21	APOIO
22	CIRCULAÇÃO
23	WC MASCULINO
24	WC PNE
25	WC FEMININO

26	SALA 5S
27	SALA 6S
28	SALA 7S
29	SALA 8S

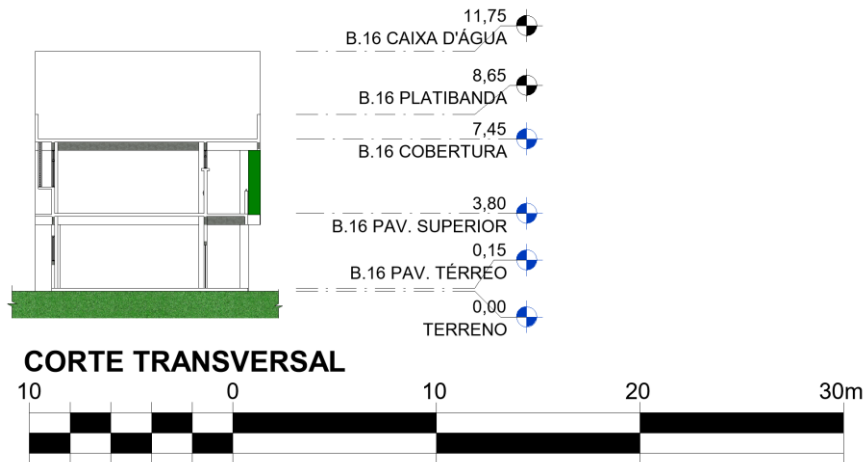
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 13 - Fachada da edificação**FACHADA SUL**

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 14 – Corte Longitudinal da edificação**CORTE LONGITUDINAL**

Figura 15 - Corte Transversal da edificação



Fonte: Autoria própria (2025).

6.3 Levantamento de Dados

O projeto arquitetônico do bloco em questão, utilizado nesta pesquisa, foi fornecido pela orientadora, autora do projeto de reforma da área de convivência dos estudantes. No entanto, para garantir que as informações de carbono incorporado sejam expressas com mais precisão em relação às condições reais da edificação analisada, foi necessário proceder a uma revisão e atualização das propriedades dos materiais aplicados no projeto, considerando as especificações reais da construção do bloco fazendo um levantamento sistemático de dados, contemplando diferentes fontes.

Foram realizadas visitas técnicas *in loco* ao bloco 16 (Figura 16 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), com o intuito de observar diretamente os materiais aplicados na construção, como estrutura, vedação, esquadrias e cobertura. Essas visitas permitiram identificar eventuais modificações em relação ao projeto original, como substituições de materiais, alterações nos acabamentos ou adequações construtivas realizadas durante a execução.

Figura 16 - Telhado (A) e Vista Lateral do bloco (B)



Fonte: Autoria própria (2026).

6.4 Configuração das propriedades dos materiais no modelo

Inicialmente, os materiais presentes no modelo foram revisados e ajustados conforme as especificações identificadas durante o levantamento *in loco*. Posteriormente, foram inseridos ou modificados parâmetros relevantes, como densidade, condutividade térmica e calor específico, com base nos valores estabelecidos pela norma NBR ISO 10456 (ABNT, 2022). Buscando assim reduzir inconsistências provenientes de valores genéricos da biblioteca padrão do software.

As propriedades foram inseridas diretamente nos parâmetros dos materiais no Revit, respeitando a estrutura de cada camada dos elementos construtivos permitindo que cada componente da envoltória fosse representado com maior fidelidade. Ressalta-se que, para propriedades não contempladas pela norma ou quando não foi possível identificar valores específicos, foram mantidos os parâmetros padrão do software ou adotados valores de materiais equivalentes.

A Figura 17 apresenta um exemplo da configuração das propriedades de um material no ambiente do Revit, evidenciando os parâmetros utilizados na modelagem.

Figura 17 - Configuração das propriedades termo físicas dos materiais

IdentidadeGráficosAparênciaPropriedades físicasTérmico

0 Argamassa de cimento

DescriçãoArgamassa de cimento

Palavras-chavetérmico,sólido

TipoSólido

SubclasseConcreto

FonteAutodesk

URL de origem

▼ Propriedades

☐ Transmite luz

ComportamentoIsotrópico

Condutividade térmica0,7199 w/(m · K)

Calor específico0,9200 J/(g · °C)

Densidade1.650,00 kg/m³

Emissividade0,95

Permeabilidade182,4000 ng/(Pa·s·m²)

Porosidade0,01

ra total:0,1500 (Padrão)

cia (R):0,1934 (m²·K)/W

rmica:140,94 kJ/(m²·K)

LADO EXTERNO

Função	Material	Espessura
Acabamento 2 [5]	Pintura Acrílica	0,0010
Acabamento 2 [5]	Massa Acrílica	0,0020
Acabamento 1 [4]	Reboco	0,0270
Camada da membrana	Chapisco	0,0000
Limite do núcleo	Camadas acima da virada do	0,0000
Estrutura [1]	Alvenaria - Bloco Cerâmico	0,0900
Limite do núcleo	Camadas abaixo da virada d	0,0000
Camada da membrana	Chapisco	0,0000
Acabamento 1 [4]	Reboco	0,0270
Acabamento 2 [5]	Massa Acrílica	0,0020
Acabamento 2 [5]	Pintura Acrílica	0,0010

LADO INTERNO

InserirDuplicarExcluirAcimaAbaixo

do revestimento-padrão

Fonte: Autoria própria (2026).

O quadro 1 abaixo apresenta a origem de onde os principais parâmetros adotados foram obtidos, indicando quais foram definidos com base na ABNT NBR ISO 10456/2022 e quais foram mantidos conforme os padrões do software.

Quadro 1 - Origem dos dados dos materiais

Materiais	Fonte dos dados
Aço	ABNT NBR ISO 10456 (2022)
Alumínio	ABNT NBR ISO 10456 (2022)
Argamassas	ABNT NBR ISO 10456 (2022)
Blocos cerâmicos	ABNT NBR ISO 10456 (2022)
Concretos	ABNT NBR ISO 10456 (2022)
Revestimentos cerâmicos	Revit (padrão)
Fibrocimento	ABNT NBR ISO 10456 (2022)
Gesso	ABNT NBR ISO 10456 (2022)
Madeiras	ABNT NBR ISO 10456 (2022)
Vidros	ABNT NBR ISO 10456 (2022)

Fonte: Autoria própria (2026).

6.5 Geração e configuração do modelo analítico de energia

Antes da realização das simulações procedeu-se a criação do modelo analítico de energia da edificação. Esse modelo constitui uma representação simplificada e processável da geometria e das propriedades térmicas da edificação, sendo fundamental para a execução de análises ambientais e energéticas.

Diferentemente do modelo físico tridimensional, que contém informações geométricas detalhadas voltadas à representação e documentação do projeto, o modelo analítico de energia tem como finalidade simplificar e estruturar essas informações de forma compatível com os algoritmos de análise ambiental. Nesse processo, elementos como paredes, pisos, coberturas e esquadrias são interpretados como limites térmicos entre ambientes internos e externos, possibilitando a avaliação do comportamento da edificação frente às trocas de calor e aos impactos ambientais associados.

A escolha do tipo de construção adotado também integra essa etapa de configuração do modelo analítico de energia. Essa definição influencia diretamente o comportamento térmico da edificação, uma vez que determina parâmetros como taxa de ocupação, cargas de iluminação e fluxo de ventilação. Tais parâmetros impactam as trocas de calor entre o ambiente interno e externo, interferindo nos resultados de consumo energético e emissões operacionais.

No Autodesk Revit, há a possibilidade de definição da tipologia de ocupação da edificação, a qual está associada a conjuntos de parâmetros padrão utilizados nas simulações energéticas. Entre as opções disponíveis, destaca-se a tipologia “Escola ou Universidade”, adotada neste estudo por melhor representar o uso da edificação analisada.

A seleção dessa tipologia implica na utilização de valores padronizados relacionados à ocupação, cargas internas, ventilação e operação da edificação, os quais são automaticamente considerados pelo software durante o processamento da análise. A Tabela 1 apresenta os principais parâmetros associados a essa configuração, sendo que, segundo Autodesk (2025, estas suposições têm base nos dados ASHRAE 90.1-2010, ASHRAE 90.2-2010, ASHRAE 62.1, CBECS e em outros levantamentos de construção sendo essas suposições usadas para o propósito de fornecer estimativas razoáveis de uso de energia.

Tabela 1 - Dados utilizados

Parâmetro	Valor
Pessoas//100m ²	21,7
Ganho de calor sensível a pessoas (W/pessoa)	73,3
Ganho de calor latente a pessoas (W/pessoa)	58,6
Densidade de carga de iluminação (W/M ²)	10,7
Densidade de carga de equipamentos (W/M ²)	10,8
Fluxo de infiltração (ACH) (troca de ar por hora)	0,4
Ar externo (ar de ventilação) Fluxo por pessoa (litros por segundo por pessoa)	nulo
Ar externo (ar de ventilação) Fluxo por área (M ³ por hora por M ²)	7,3
Ponto definido de resfriamento de não ocupação (°C)	29,4

Fonte: Autoria própria (2026).

Com o objetivo de avaliar a influência do nível de detalhamento das propriedades térmicas nos resultados das simulações, foram adotadas duas abordagens distintas para a definição dos parâmetros dos elementos construtivos.

Na primeira abordagem, foi utilizada a configuração de “elementos detalhados”, permitindo que o modelo analítico considerasse individualmente as camadas que compõem cada sistema construtivo. Dessa forma, parâmetros como condutividade térmica, densidade e calor específico — previamente ajustados com base na NBR ISO 10456 (ABNT, 2022) — foram incorporados diretamente à análise, proporcionando maior nível de precisão.

Na segunda abordagem, foram utilizados os “tipos conceituais” disponibilizados pelo software, nos quais os elementos construtivos são representados por parâmetros térmicos simplificados e padronizados. Nessa configuração, a classificação dos elementos foi realizada com base em sua massa térmica, conforme os princípios estabelecidos pela NBR 15220 (ABNT, 2025), sendo definidos como sistemas leves ou pesados.

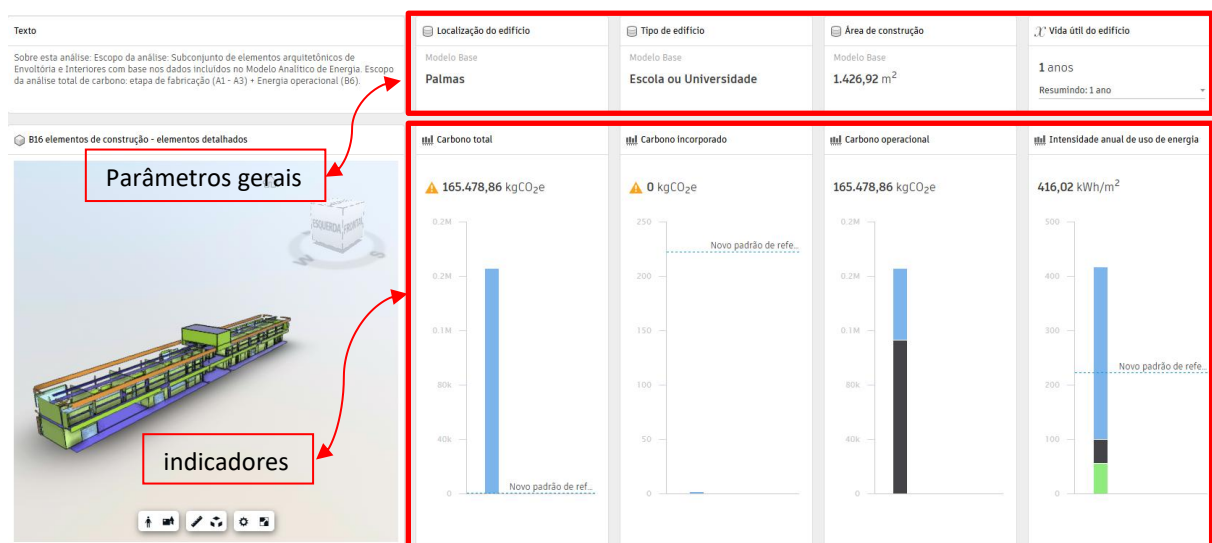
6.6 Simulação com elementos detalhados

Após a configuração do modelo analítico de energia e a definição das propriedades dos materiais, foi realizado, o processamento da análise. O processamento dos dados ocorre em ambiente de computação em nuvem, sendo automaticamente direcionado para a interface do Autodesk Insight, acessada via navegador. Nessa interface, são disponibilizados os resultados da simulação de forma gráfica e interativa, permitindo a visualização de indicadores

relacionados ao carbono incorporado da edificação, bem como a distribuição das emissões por categorias de elementos construtivos.

Na parte superior da interface (Figura 18), são apresentados parâmetros gerais do modelo analisado, como localização do edifício, tipologia construtiva, área total e vida útil considerada. Esses dados são fundamentais, pois influenciam diretamente nos cálculos realizados pela ferramenta, especialmente no que se refere à estimativa de consumo energético e emissões associadas.

Figura 18 - Apresentação da interface do insight



Fonte: Autoria própria (2026).

Logo abaixo, a plataforma apresenta indicadores consolidados, como carbono total, carbono incorporado, carbono operacional e intensidade de uso de energia (EUI – Energy Use Intensity). Esses indicadores são exibidos de forma gráfica, permitindo a comparação com valores de referência estabelecidos pela própria ferramenta, o que auxilia na avaliação do desempenho da edificação em relação a padrões pré-definidos.

Observou-se que a ferramenta utiliza um conjunto de métricas e fatores para o cálculo dos indicadores de desempenho energético e ambiental. As métricas correspondem aos resultados finais apresentados, como a EUI e as emissões de carbono, enquanto os fatores representam as variáveis de entrada que influenciam esses cálculos, como cargas internas, iluminação, equipamentos e sistemas prediais.

Conforme ilustrado na Figura 19, a métrica da EUI é calculada a partir da soma dos consumos energéticos dos diversos sistemas da edificação, incluindo resfriamento, iluminação e equipamentos, sendo posteriormente normalizada pela área da edificação.

Figura 19 - Métricas da intensidade do uso de energia

$$\frac{(\text{Refrigeração (kWh)} + \text{Iluminação interior (kWh)} + \text{Iluminação exterior (kWh)} + \text{Equipamentos de interior (kWh)} + \text{Equipamento externo (kWh)} + \text{Bombas (kWh)} + \text{Rejeição de calor (kWh)} + \text{Umidificação (kWh)} + \text{Recuperação de calor (kWh)} + \text{Sistemas de água (kWh)} + \text{Refrigeração (kWh)} + \text{Geradores (kWh)})}{\text{Área construída (m}^2\text{)}}$$

Fonte: Autoria própria (2026).

Já os fatores (Figura 20), como a densidade de potência de iluminação (Lighting Power Density – LPD), representam parâmetros que influenciam diretamente o consumo energético do edifício. Esses valores podem ser ajustados na ferramenta, permitindo a simulação de diferentes condições de operação e uso.

Figura 20 – Fatores

Gerenciar fatores

Procurar

Comece agora

Building Lifespan

Coal Emissions Rate

Diesel Emissions Rate

District Cooling Emissions Rate

District Heating Emissions Rate

Electricity Emissions Rate

Fossil Fuel Emissions Rate

Fuel Oil No 1 Emissions Rate

Fuel Oil No 2 Emissions Rate

Gasoline Emissions Rate

Lighting Power Density (LPD)

Propane Emissions Rate

Meus fatores

Name *

Lighting Power Density (LPD)

Description

Represents the average internal heat gain and power consumption of electric lighting unit per floor area

Type ⓘ

☐ Non-simulation Factor

☒ Simulation Factor

Lighting Power Density (LPD)

Values * ⓘ

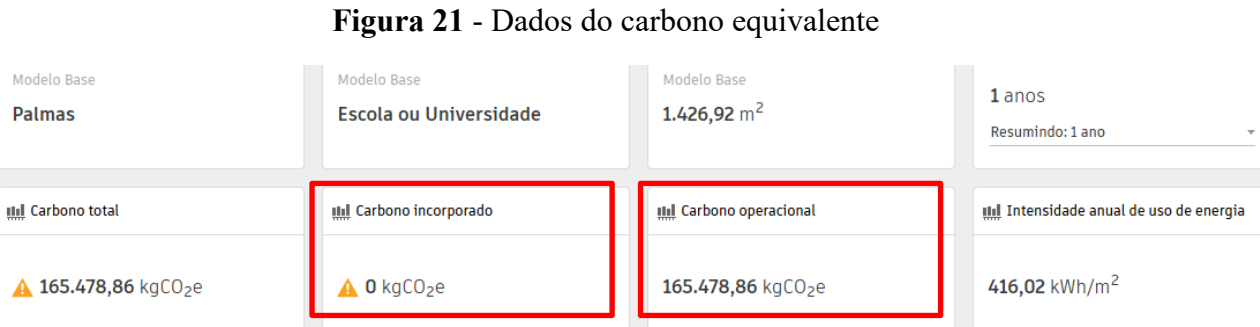
+ Add New Row

Name	Value
Base Model	<Varies>
Low	4.84
Medium	7
High	7.75
Very High	9.04

Fonte: Autoria própria (2026).

No presente estudo, esses parâmetros foram mantidos conforme os valores padrão da ferramenta, uma vez que o foco da análise está centrado no carbono incorporado dos materiais, e não na variação de cenários operacionais.

Ademais, observou-se que os resultados iniciais apresentaram inconsistências, especialmente no que se refere ao carbono incorporado dos materiais. Conforme ilustrado na Figura 21, o valor de carbono incorporado foi apresentado como nulo, enquanto o carbono operacional apresentou valores significativos.

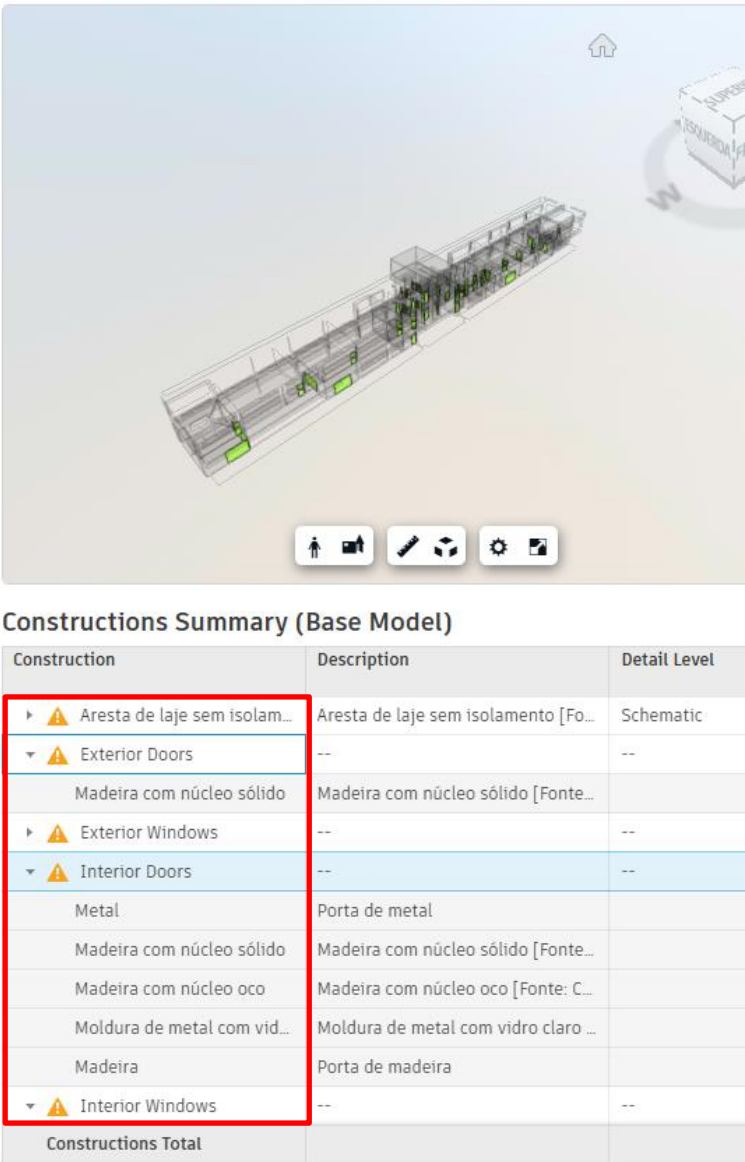


Fonte: Autoria própria (2026).

Essa situação ocorre devido à ausência de dados de carbono associados aos materiais utilizados no modelo. Embora o Autodesk Insight possua integração com a bases de dados ambientais do EC3 (Embodied Carbon in Construction Calculator), é necessário que os materiais do modelo estejam devidamente vinculados a definições de carbono para que os cálculos sejam realizados corretamente.

Na aba de detalhamento dos elementos construtivos (Figura 22), é possível identificar que diversos componentes apresentam alertas, indicando a falta de informações relacionadas ao carbono incorporado. Esses avisos evidenciam que, apesar das propriedades físicas e térmicas estarem corretamente configuradas, os parâmetros ambientais ainda não foram completamente definidos.

Figura 22 - Alertas gerados pelo insight



Fonte: Autoria própria (2026).

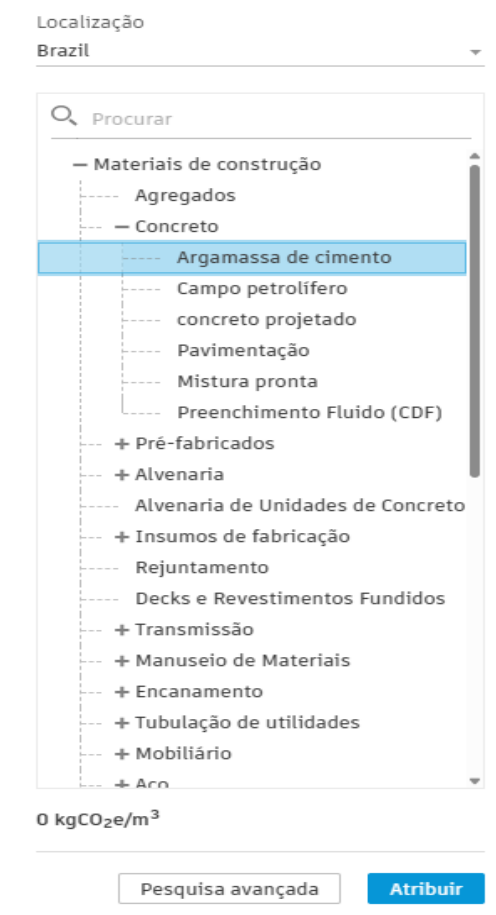
Dessa forma, para viabilizar a análise do carbono incorporado, torna-se necessário o preenchimento das informações na planilha de materiais do Insight, associando cada elemento construtivo a um coeficiente de emissão de carbono (kgCO₂e). Esse procedimento permite que o software reconheça os materiais e realize a estimativa das emissões de forma adequada.

O passo seguinte consistiu no preenchimento das informações ambientais dos materiais onde o Insight permite essa vinculação por meio da integração com a base de dados EC3, que reúne informações ambientais de materiais de construção com base em DAPs. a interface disponibiliza uma biblioteca organizada por categorias de materiais, como concreto, aço, madeira, alumínio e sistemas construtivos diversos.

Além disso, a ferramenta possibilita a filtragem por localização, permitindo selecionar dados mais compatíveis com o contexto regional da edificação, como, por exemplo, materiais disponíveis no Brasil. A partir dessa interface, cada elemento construtivo do modelo deve ser associado a um material correspondente presente na base de dados, de modo que seja atribuído um coeficiente de emissão de carbono (kgCO_2e).

No entanto, durante o processo de vinculação dos materiais à base de dados do EC3, foi observada uma limitação significativa relacionada à disponibilidade de dados para o contexto brasileiro. Ao selecionar a localização “Brasil” na ferramenta, verificou-se que diversas categorias de materiais não apresentavam opções disponíveis para associação, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 - Ausência de dados no contexto brasileiro



Fonte: Autoria própria (2026).

Diante dessa limitação, foi necessário adotar materiais equivalentes disponíveis na base de dados, mesmo que não fossem especificamente provenientes do contexto brasileiro. A seleção desses materiais foi realizada com base na similaridade de composição, função e

aplicação construtiva, buscando manter a coerência técnica e minimizar distorções nos resultados da análise.

6.7 Simulação com tipos conceituais

Diferentemente da configuração com elementos detalhados, nessa abordagem não são consideradas individualmente as camadas que compõem os sistemas construtivos, sendo atribuídos valores genéricos de propriedades térmicas aos elementos da edificação.

A definição dos tipos conceituais foi realizada com base nas categorias padronizadas disponibilizadas pelo Autodesk Revit, as quais representam conjuntos de propriedades térmicas previamente estabelecidas. Cada opção de construção disponível no software corresponde a valores de transmitância térmica (U), resistência térmica (R) e massa térmica.

A Tabelas 2 abaixo apresenta as categorias disponíveis para escolha associadas aos valores de referência, conforme disponibilizado na documentação do software. Os valores são disponibilizados tanto no sistema imperial de Unidades (IP) quanto no sistema Internacional de Unidades (SI), sendo adotado neste estudo o sistema métrico, por ser o padrão utilizado no contexto brasileiro.

Tabela 2 - Categorias para os tipos conceituais

Tipos conceituais	(continua)		
	Valor U (W/m ² ·K)	Valor R (m ² ·K/W)	Massa térmica (kJ/m ² ·K)
Parede externa da massa			
Construção leve – Alto isolamento	0,21	4,71	48,62
Construção leve – Isolamento típico do clima frio	0,29	3,43	36,80
Construção leve – Isolamento típico de clima ameno (padrão)	0,49	2,05	35,58
Construção leve – Baixo isolamento	0,98	1,02	205,52
Construção leve – Sem isolamento	3,25	0,31	21,30
Construção pesada – Alto isolamento	0,38	0,31	399,00
Construção pesada – Isolamento típico de clima frio	0,41	2,44	387,52
Construção pesada – Isolamento típico de clima ameno	0,93	1,07	382,73

Tabela 3 - Categorias para os tipos conceituais

(continuação)

Construção pesada – Sem isolamento	6,45	0,15	381,62
Parede interna de massa			
Construção leve – Sem isolamento	3,25	0,31	93,10
Construção pesada – Sem isolamento (padrão)	6,45	0,15	381,62
Telhado de massa			
Alto isolamento – Telhado frio	0,17	5,74	68,27
Alto isolamento – Telhado escuro	0,17	5,74	68,27
Isolamento típico – Telhado frio (padrão)	0,26	3,90	55,23
Isolamento típico – Telhado escuro	0,26	3,90	55,23
Baixo isolamento – Telhado frio	0,47	2,13	42,2
Baixo isolamento – Telhado escuro	0,48	2,07	42,2
Sem isolamento – Telhado escuro	4,84	0,21	26,18
Piso de massa			
Construção leve – Alto isolamento	0,85	23,54	0,0069
Construção leve – Isolamento típico (padrão)	0,93	33,13	0,068
Construção leve – Baixo isolamento	1,88	48,57	0,066
Construção leve – Sem isolamento	2,19	156,51	0,032
Laje de massa			
Construção pesada – Isolamento de laje de clima glacial	0,11	9,09	696,64
Construção pesada – Isolamento de laje de clima frio	0,12	8,62	696,64
Construção pesada – Sem isolamento (padrão)	0,27	3,70	696,64
Vidraça de massa			
Painel único – Transparente – Sem revestimento	5,91	0,78	0,90
Painel único – Colorido	5,91	0,52	0,46
Painel único – Refletivo	5,91	0,23	0,14
Painel duplo – Transparente – Sem revestimento (padrão)	2,86	0,66	0,81
Painel duplo – Colorido	2,86	0,41	0,68
Painel duplo – Refletivo	2,86	0,25	0,27

Tabela 4 - Categorias para os tipos conceituais

(conclusão)

Painel duplo – Transparente – Clima frio, baixa emissão, SHGC alto	1,98	0,56	0,76
Painel duplo – Transparente – Clima frio, baixa emissão, SHGC baixo	1,99	0,38	0,45
Painel duplo – Transparente – Alto desempenho, baixa emissão, Tvis alto, SHGC baixo	1,99	0,23	0,42
Painel triplo – Transparente – Clima quente ou frio, baixa emissão	1,53	0,44	0,64
Painel quádruplo – Transparente – Clima quente ou frio, baixa emissão	1,46	0,22	0,55

Fonte: Autodesk (2026), organizado pelo autor (2026).

Os sistemas construtivos da edificação analisada não apresentam a utilização de materiais específicos de isolamento térmico em sua composição, como mantas isolantes, painéis térmicos ou materiais isolantes fibrosos, a exemplo de lã de vidro e lã de rocha. Dessa forma, as configurações adotadas na simulação foram selecionadas dentre as opções “sem isolamento.

A escolha dos demais critérios foi realizada com o apoio do Guia de Desempenho Térmico da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), o qual apresenta diferentes sistemas construtivos, como paredes e coberturas, associados a valores de transmitância térmica e capacidade térmica como mostra o exemplo na Figura 24. A partir dessa referência, foram identificados sistemas construtivos equivalentes ou semelhantes aos existentes no bloco analisado, permitindo a comparação com os valores disponibilizados pelo Autodesk permitindo a seleção das categorias conceituais mais compatíveis com a realidade da edificação.

Figura 24 – Valores de transmitância e capacidade térmica de sistemas construtivos

Transmitância térmica U	Descrição	U [W/(m².K)]	CT [kJ/(m².K)]
1 	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120
2 	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240
3 	Parede de tijolos maciços aparentes Dimens. tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149
4 	Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	3,13	255

Fonte: CBIC (2013).

As paredes externas, constituídas por alvenaria cerâmica de blocos vazados, foram classificadas como construções leves, assim como as paredes internas em gesso acartonado. O sistema de piso representado pelo granilite como leve, já a laje classificada como construção pesada, devido à sua elevada densidade e espessura.

A cobertura em fibrocimento foi classificada como telhado escuro, uma vez que, apesar de sua coloração acinzentada, esse material apresenta baixa refletância solar quando não possui tratamento superficial refletivo, resultando em maior absorção de radiação térmica. O quadro 2 a seguir mostra a definição adotada a cada elemento.

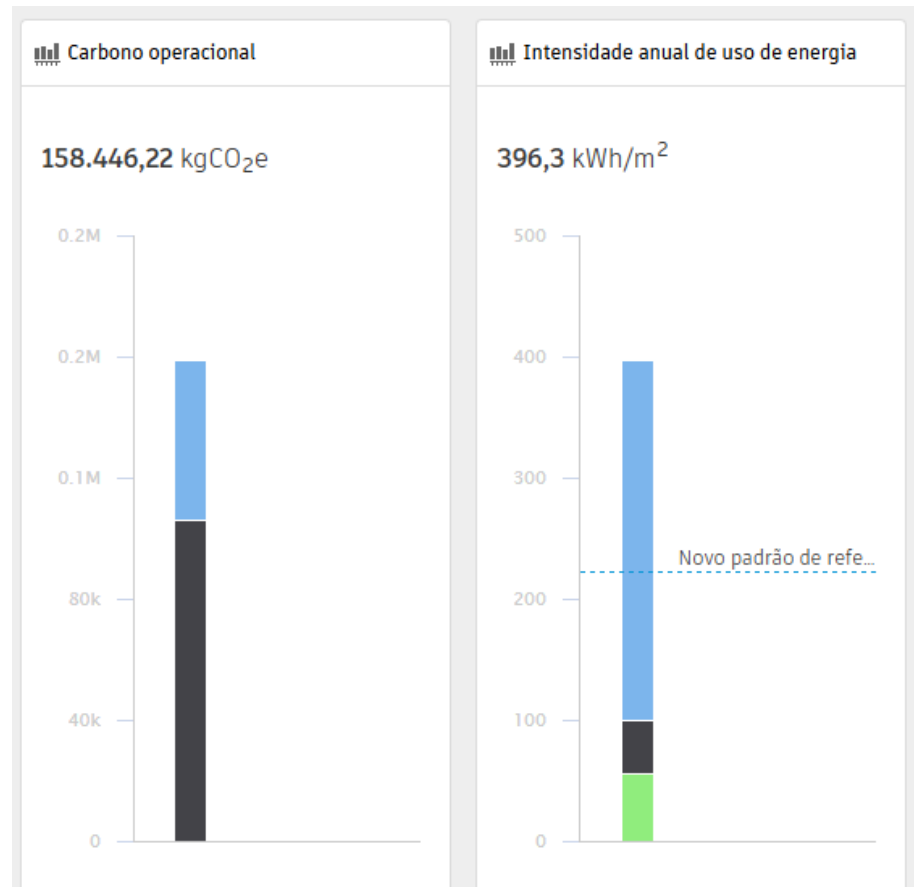
Quadro 2 - Caracterização dos elementos

Paredes externas	Construção leve sem isolamento
Paredes internas	Construção leve sem isolamento
Telhado	Escuro sem isolamento
Laje	Construção pesada sem isolamento
Piso	Construção leve sem isolamento
Vidraça da massa	Painel único – Transparente – Sem revestimento

Fonte: Autoria própria (2026).

Nessa abordagem, foram utilizados os parâmetros padrão do software para cada tipo conceitual, não sendo necessários os valores específicos de propriedades dos materiais, além de não ser considerada nessa pesquisa a análise do carbono incorporado, isso porque nessa configuração, não são representadas as camadas reais que compõem os elementos construtivos, conforme definido no projeto. Dessa forma, não é possível associar individualmente cada material às suas respectivas contribuições de emissões de carbono, inviabilizando a atribuição de coeficientes de carbono incorporado de forma coerente.

Dessa forma, a análise com tipos conceituais foi direcionada exclusivamente à avaliação do desempenho energético e do carbono operacional (Figura 25), permitindo investigar a influência da simplificação das propriedades térmicas nos resultados obtidos, sem comprometer a confiabilidade das estimativas relacionadas ao carbono incorporado.

Figura 25 - Dados gerados pelo insight

Fonte: Autoria própria (2026).

6.8 Declaração de uso de IA Generativa

Durante a elaboração deste estudo, utilizou-se a ferramenta de inteligência artificial generativa ChatGPT (OpenAI) para suporte na revisão textual, aprimoramento da redação acadêmica e organização de ideias. Todas as saídas foram minuciosamente revisadas e validadas pelo autor, que assume total responsabilidade pela precisão e integridade do conteúdo intelectual e técnico apresentado, em conformidade com a portaria CNPq nº 2664 (2026).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização das duas simulações propostas, foram obtidos os dados apresentados na tabela 3 a seguir.

Tabela 5 - Resultado das simulações

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES			
1º simulação (elementos detalhados)		2º simulação (tipos conceituais)	
Carbono operacional (1 ano)	165.478,86 (kgCO ₂ e)	Carbono operacional (1 ano)	158.446,22 (kgCO ₂ e)
Carbono incorporado	534.259,88 (kgCO ₂ e)	Carbono incorporado	-
Total equivalente	699.738,74 (kgCO ₂ e)	Total equivalente	158.446,22 (kgCO ₂ e)

Fonte: Autoria própria (2026).

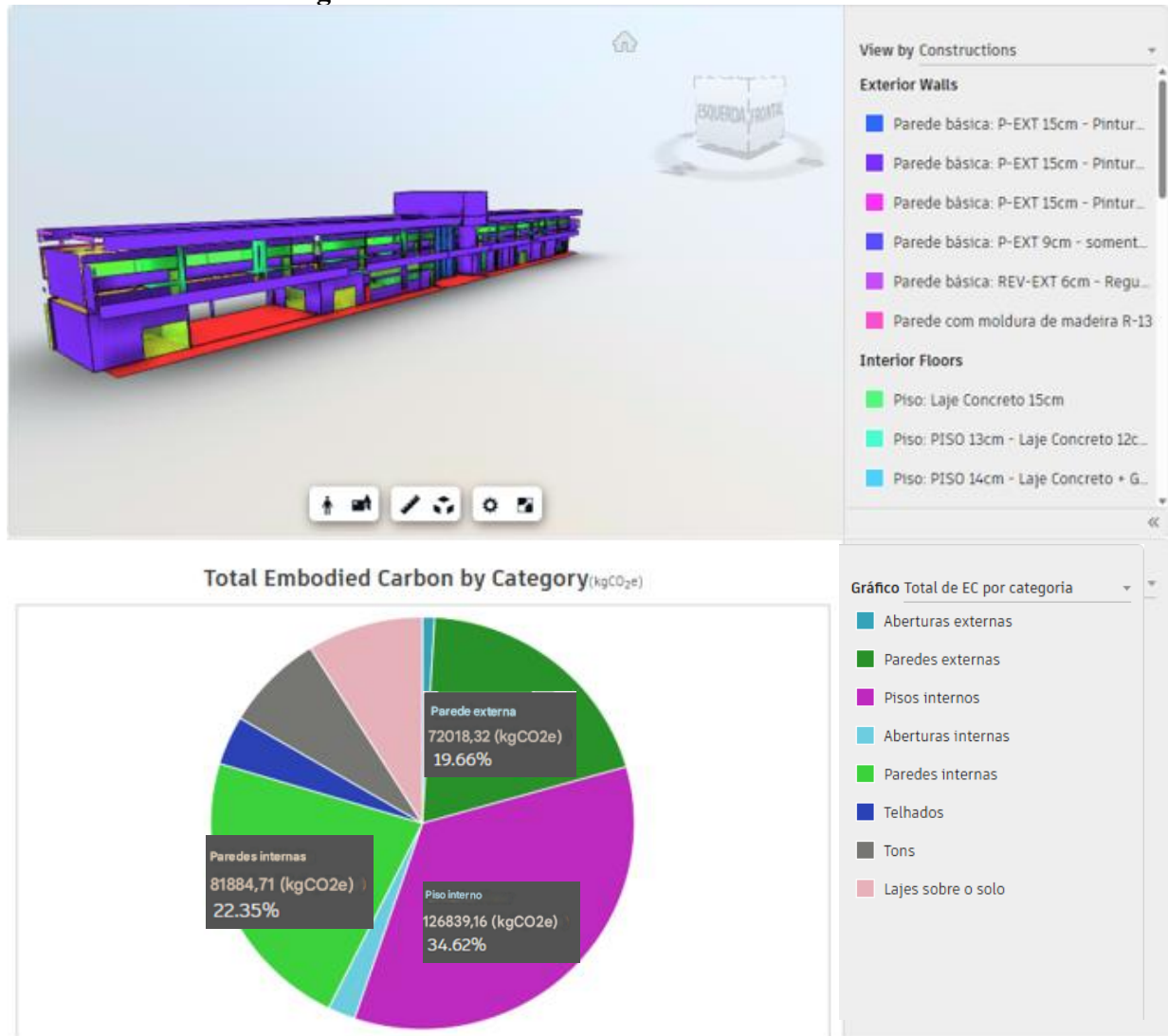
Considerando os resultados obtidos pela primeira simulação, o carbono total estimado para a edificação foi de 699.738,74 kgCO₂e, considerando tanto as emissões associadas à etapa de fabricação dos materiais quanto aquelas relacionadas à operação do edifício. Desse total, a maior parcela corresponde ao carbono incorporado, com valor de 534.259,88 kgCO₂e, evidenciando a significativa contribuição dos materiais de construção no impacto ambiental da edificação.

O carbono operacional foi estimado em 165.478,86 kgCO₂e, sendo este associado ao consumo energético durante a fase de uso da edificação de um ano. Embora esse indicador seja apresentado pela ferramenta, sua análise detalhada não constitui o foco do presente estudo.

Adicionalmente, a ferramenta disponibiliza a EUI com valor de 416,02 kWh/m², utilizada como parâmetro de avaliação do desempenho energético da edificação. Esse indicador está diretamente relacionado ao carbono operacional, uma vez que o consumo de energia influencia as emissões associadas à fase de uso. Dessa forma, o EUI é considerado na análise como um indicador complementar, contribuindo para a compreensão do desempenho energético e ambiental do modelo, em conjunto com os demais parâmetros avaliados.

A análise do carbono incorporado da edificação foi realizada a partir da distribuição das emissões entre as diferentes categorias de elementos construtivos, conforme apresentado na Figura 26. A ferramenta Autodesk Insight Carbon Analysis permite visualizar essa distribuição por meio de gráficos, facilitando a identificação dos sistemas com maior contribuição para o impacto ambiental total.

Figura 26 - Elementos com maior taxa de CO₂e



Fonte: Autoria própria (2026).

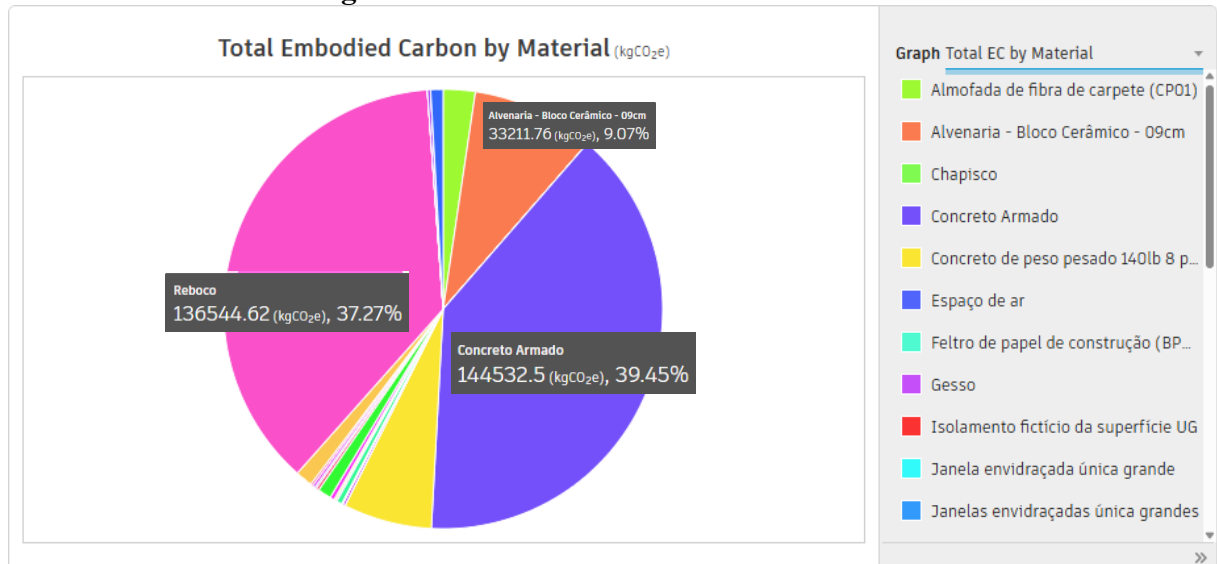
Observa-se que o carbono incorporado total da edificação é de 534.259,88 kgCO₂e. As categorias com maior participação são os pisos internos 34,62%, as paredes internas 22,35%, as paredes externas 19,66% e os que juntos concentram a maior parcela das emissões totais.

Por outro lado, elementos como aberturas (portas e janelas), cobertura e componentes de menor representatividade volumétrica apresentam contribuições reduzidas no total de emissões, indicando menor impacto relativo no carbono incorporado.

Ao alterar a visualização do gráfico de categorias para materiais, obteve-se o gráfico apresentado na Figura 27, que permite analisar a distribuição do carbono incorporado por material. Observa-se que o concreto armado, bem como o reboco, revestimentos à base de argamassa, apresentam as maiores contribuições para o total de emissões. Esse resultado está

associado ao uso predominante de materiais cimentícios na edificação, os quais são reconhecidos por sua elevada intensidade de carbono ao longo do seu processo produtivo.

Figura 27 – materiais com maior taxa de CO₂e



Fonte: Autoria própria (2026).

A análise evidencia que os elementos com maior participação nas emissões estão diretamente associados aos materiais cimentícios, sobretudo aqueles empregados em maior volume na edificação. Dessa forma, estratégias de redução de impacto ambiental devem priorizar a otimização desses sistemas, seja por meio da substituição de materiais, redução de espessuras ou adoção de soluções construtivas mais eficientes.

Considerando agora os resultados obtidos pela segunda simulação, o carbono operacional apresentou valor de 158.446,22 kgCO₂, enquanto a intensidade de uso de energia foi de 396,3 kWh/m². Esses resultados refletem o comportamento energético da edificação sob uma abordagem simplificada, representadas por parâmetros genéricos.

Ao comparar esses resultados com aqueles obtidos por meio da modelagem com elementos detalhados, verifica-se que os valores se mantiveram próximos, indicando que, apesar da simplificação adotada, o modelo conceitual foi capaz de representar de forma satisfatória o comportamento térmico global da edificação.

No entanto, é importante ressaltar que o uso de parâmetros genéricos pode introduzir variações nos resultados, uma vez que não são consideradas as especificidades dos materiais utilizados. Assim, embora a abordagem conceitual se mostre eficiente para análises preliminares, a modelagem com elementos detalhados permanece mais adequada para avaliações que demandam maior precisão.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta analisada apresenta tanto potencialidades quanto limitações no contexto de sua aplicação. A visualização tridimensional do modelo constitui um aspecto relevante, permitindo ao usuário identificar os elementos analisados e compreender sua distribuição espacial. Essa funcionalidade contribui para a interpretação da relação entre o modelo físico e os resultados obtidos, além de facilitar a identificação de possíveis inconsistências e oportunidades de melhoria.

No entanto, foram identificadas limitações relevantes durante a aplicação da ferramenta, especialmente no que se refere à disponibilidade de dados de carbono incorporado para o contexto brasileiro. A ausência de informações específicas na base de dados EC3 exigiu a utilização de materiais equivalentes, selecionados com base em características semelhantes, o que introduz incertezas nos resultados. Dessa forma, os valores obtidos devem ser interpretados como estimativas, sendo mais adequados para análises comparativas do que para quantificações absolutas precisas.

Essa limitação evidencia que, embora o EC3 seja uma base de dados robusta e amplamente utilizada internacionalmente, sua cobertura ainda é mais abrangente para determinados países, especialmente aqueles com maior volume de DAPs disponíveis. No caso brasileiro, a quantidade de dados ainda é restrita, o que dificulta a representação fiel de alguns materiais utilizados na construção civil nacional.

Apesar dessas limitações, a ferramenta mostrou-se útil como instrumento de apoio à tomada de decisão, especialmente nas fases iniciais de projeto, onde é possível avaliar o impacto ambiental das escolhas construtivas por meio de análises exploratórias permitindo a identificação dos principais componentes responsáveis pelas emissões e facilitando a visualização dos resultados por meio de gráficos e tabelas. Nesse sentido, destaca-se o potencial de aplicação no contexto da gestão de obras, tanto públicas quanto privadas, contribuindo para o planejamento de edificações mais sustentáveis e para o uso mais eficiente dos recursos.

Nesse sentido, destaca-se que a utilização da ferramenta por meio de abordagens simplificadas, como a modelagem com tipos conceituais, também se mostrou capaz de fornecer resultados relevantes para a análise do desempenho da edificação. Mesmo com a adoção de parâmetros genéricos e a ausência do detalhamento completo dos materiais, os resultados obtidos apresentaram comportamento coerente quando comparados ao modelo com elementos detalhados, evidenciando sua aplicabilidade em estudos preliminares.

Em relação aos resultados obtidos de carbono incorporado, evidenciaram que esses representam grande parcela das emissões totais da edificação, destacando a influência significativa dos materiais empregados, especialmente aqueles à base de cimento, como o concreto. Também foi evidenciado que elementos construtivos como pisos, paredes externas e internas apresentaram maior contribuição para a pegada de carbono, em função do volume e da massa dos materiais utilizados.

Nesse contexto, é possível propor algumas estratégias para a redução do impacto ambiental da edificação, destacando-se:

- A utilização de concretos com adições minerais, como escória de alto-forno ou materiais pozolânicos, que apresentam menor emissão de dióxido de carbono em seu processo produtivo (Battagin, Silva 2019);
- A substituição de sistemas construtivos convencionais por soluções mais leves, como sistemas em *drywall*, especialmente em vedações internas;
- A otimização das dimensões e espessuras dos elementos construtivos, reduzindo o volume total de materiais empregados;
- A priorização de materiais com menor intensidade de carbono, sempre que disponíveis em bases de dados confiáveis.

Ressalta-se, no entanto, que a adoção dessas estratégias deve ser realizada de forma criteriosa, considerando não apenas a redução do carbono incorporado, mas também o desempenho térmico da edificação. Em climas como o da região de Palmas–TO, caracterizado por elevadas temperaturas, a inércia térmica dos materiais e sua capacidade de contribuir para o conforto térmico dos ambientes internos devem ser analisadas de forma integrada.

Dessa forma, soluções que reduzam o carbono incorporado, mas comprometam o desempenho térmico, podem resultar em aumento do consumo energético ao longo da vida útil da edificação, especialmente com o uso de sistemas de climatização. Assim, torna-se fundamental equilibrar os aspectos ambientais e de conforto, buscando alternativas que conciliem menor impacto de carbono com adequado desempenho térmico.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros explorem a aplicação da ferramenta em diferentes tipologias de edificações, bem como a realização de estudos integrados que associem a análise de carbono incorporado à avaliação da eficiência energética e do desempenho térmico das edificações, com o uso de bases de dados mais representativas do contexto nacional. Destaca-se, ainda, a necessidade de desenvolvimento e consolidação de bancos de dados brasileiros de carbono incorporado, a fim de ampliar a precisão e a confiabilidade das análises ambientais no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

- ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2025.
- ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2025.
- AUTODESK. **Revit – Documentação oficial**. 2025. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit>. Acesso em: 5 jun. 2025.
- AUTODESK. **Propriedades térmicas do material – Tipos conceituais**. 2026. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2027/PTB/?guid=GUID-004A470D-675B-4CB0-96AE-D4A6852BDDA3>. Acesso em: 2 maio 2026.
- AUTODESK. Dados do tipo de construção. 2025. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2027/PTB/?guid=GUID-7A1AFEAE-E3EA-404A-B17E-B24BCBBB8726>. Acesso em: 2 maio 2026.
- BARBOSA, Ricardo; ALMEIDA, Manuela Guedes de. **O carbono incorporado na regulamentação energética dos edifícios**. Edifícios e Energia, media line, set. 2021. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/90594>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- BATTAGIN, Arnaldo Forti; SILVA, Maristela Gomes da. **Por que os cimentos com adições vieram para ficar?**. Concreto & Construções, São Paulo, ano XLVII, ed. 95, p. 33–39, jul./set. 2019. Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). Disponível em: https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/. Acesso em: 26 abr. 2026.
- BATTAGIN, Inês Laranjeira da Silva. **Aspectos conceituais de soluções ecoeficientes em concreto com vistas à normalização**. Concreto & Construções, São Paulo, ano XLVII, ed. 95, p. 111, jul./set. 2019. Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). Disponível em: https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/. Acesso em: 26 abr. 2026.
- CARBON LEADERSHIP FORUM. **Tools for Measuring Embodied Carbon**. Disponível em: <https://carbonleadershipforum.org/tools-for-measuring-embodied-carbon/>. Acesso em: 7 jun. 2025.
- CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq). Portaria nº 2664, de 2026. Dispõe sobre o uso de inteligência artificial em pesquisas científicas. Brasília, DF: CNPq, 2026.
- CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (UNFCCC). *Acordo de Paris*. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Reimaginando nossas edificações e espaços para uma economia circular**. [S.l.], 14 mar. 2022. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/ambiente-construido/visao-geral>. Acesso em: 02 maio 2026.

MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F. **A economia circular na construção civil: principais barreiras e oportunidades para a transição do setor.** *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 18, n. 53, p. 54-71, 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15726>. Acesso em: 04 jun. 2025.

FERREIRA, Wellington Augusto; SILVA, Gabriel Ribeiro; PAPANDRÉA, Pedro José; PEREIRA, Matheus Costa. **BIM: Modelagem de informação na construção civil.** E-Locução – Revista Científica da FAEX, v. 11, n. 21, p. 95-112, 2022. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucão/article/view/452>. Acesso em: 06 jun. 2025.

FRANÇA, Ana Judite G. Limongi; CRAWLEY, Dru; COLLINS, Greg; BRACHT, Matheus Körbes; BENFICA, Sandra Schaaf; FERREIRA, Sérgio Leal. Guia 5: avaliação de desempenho energético em projetos BIM. [s.l.]: parceria entre MDIC e ABDI, 2017. p. 14. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/guia%20bim05_20171002_web.pdf. Acesso em: 02 maio 2026.

FRANCO, Walter. **BIM: o que você precisa saber.** [Brasil] BIMWorks, [s.d.]. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/70933/1614260917E-BOOK_BIM_01_REV_final_2.pdf. Acesso em: 06 jun. 2025.

GOMES, Vanessa; BARROS, Natália Nakamura. **Contribuição da modelagem bim para facilitar o processo de acv de edificações completas.** *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 19–34, 2018. Disponível em: <https://revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/142139>. Acesso em: 2 maio. 2026.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. Estados, Cidades. IBGE, 2024.

JUSTI, Alexander Rodrigues. **Implantação da plataforma Revit nos escritórios brasileiros.** *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 3, n. 1, p. 140–152, 2008. DOI: 10.4237/gtp.v3i1.56. Disponível em: <https://revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50931>. Acesso em: 5 jun. 2025.

KOZLOSKI, Cássia Laire. **Emissão de CO₂ de materiais de construção civil no Brasil: estimativas na etapa projetual de edificações.** 2020. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/22670>. Acesso em: 4 jun. 2025.

MILLER, S. A.; HORVATH, A.; MONTEIRO, P. J. M. Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%. *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 7, 2016. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/7/074029>. Acesso em: 06 jun. 2025.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. **Sustentabilidade e processos de projetos de edificações.** *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 2009. Disponível em: <https://revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50953>. Acesso em: 04 jun. 2025.

MOURÃO, Joana; BONACCORSO, Nadir (Coord.). **Guia de formação em arquitetura bioclimática e eficiência energética nos Açores**. Ponta Delgada: Ordem dos Arquitectos – Secção Regional dos Açores, 2024. Disponível em: <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/32878>. Acesso em: 5 jun. 2025.

OLIVEIRA, André Silva. **Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0**. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007, p. 23. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/13451>. Acesso em: 5 jun. 2025.

OLIVEIRA, L. K. dos S.; RÊGO, R. de M.; FRUTUOSO, M. N. M. de A.; RODRIGUES, S. S. F. B. **Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável**. HOLOS, Natal, v. 4, p. 217–230, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3981>. Acesso em: 30 maio 2025.

OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. **OpenStreetMap**. Cambridge: OpenStreetMap Foundation, 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. [S. l.]: ONU Brasil, [2025?]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 11 jun. 2025.

PLUS ARQUITETURA. **Pedra, papel, BIM**. 2020. Disponível em: <https://www.plusarquitetura.com/pedra-papel-bim/>. Acesso em: 2 maio 2026.

RÖCK, Martin; SAADE, Marcella Ruschi Mendes; BALOUKTSI, Maria; RASMUSSEN, Freja Nygaard; BIRGISDOTTIR, Harpa; FRISCHKNECHT, Rolf; HABERT, Guillaume; LÜTZKENDORF, Thomas; PASSER, Alexander. **Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation**. Applied Energy, v. 258, p. 3114107, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337591460_Embodied_GHG_emissions_of_buildings_-_The_hidden_challenge_for_effective_climate_change_mitigation. Acesso em: 5 jun. 2025.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da; SOUZA, Lucas Barbosa e. Seleção de anos-padrão para análise rítmica em estudos de conforto térmico: uma proposta de “confortogramas” a partir de índices. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 13, n. 20, p. 52–70, jan./jul. 2017.

SOUSA, Sabrina Rodrigues. **Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92080>. Acesso em: 5 jun. 2025.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320933820_Metodologia_de_analise_do_ciclo_de_vida_energetica_de_edificacoes_residenciais_brasileiras. Acesso em: 5 jun. 2025.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN, 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector**. Nairobi: UNEP, 2023. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/2023-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em: 11 jun. 2025.

WOLKART, Isabella Cardoso; DE JESUS, Luciana Aparecida Netto. **Integração BIM-BEM: Revisão sobre o uso da metodologia BIM para análise termoenergética**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–15. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5963>. Acesso em: 2 maio. 2026.