

Quantificação das emissões de carbono e de consumo energético: estudo de caso em edificações residenciais unifamiliares

Quantification of carbon emissions and energy consumption: a case study in single-family residential buildings

Mariana Rodrigues de Lima Garcia(1); Cesar Fabiano Fioriti(2)

1 Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

E-mail: mariana.rl.garcia@unesp.br | ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-2957-9797>

2 Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

E-mail: cffioriti@hotmail.com | ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5461-4495>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 15, n. 1, p. 40-62, janeiro-junho, 2026 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2026.v15i1.5207>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Resumo

Diante do contexto atual global é notório o efeito das mudanças climáticas na sociedade, constituindo em uma problemática evidente. Neste cenário o setor da construção civil possui um foco de atenção, pois é considerado uma das atividades de maior impacto ambiental no planeta Terra, devido ao elevado consumo de recursos naturais e à emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) durante todo ciclo de vida da edificação. Em consonância à necessidade urgente de mudanças neste setor, este trabalho teve como objetivo analisar o impacto ambiental do uso de materiais convencionais na construção civil, por meio da análise de dois projetos residenciais hipotéticos (estudo de caso) que continham dois aspectos distintos: suas dimensões e localização na malha urbana, ambos no município de Presidente Prudente, SP. Houve a comparação entre a quantificação da pegada de carbono e do consumo energético das duas residências, o que gerou uma discussão quanto ao impacto da construção civil convencional, a partir da relação entre os materiais utilizados e seus fornecedores. Os resultados apontaram que a escolha de materiais de construção e o transporte de fornecedores são fatores de grande impacto para os dois indicadores. Dessa forma, reafirmando a necessidade de mudança nesta indústria geradora de carbono incorporado.

Palavras-chave: Construção civil; Pegada de carbono; Energia incorporada; Meio ambiente.

Abstract

Given the current global context, the effect of climate change on society is notorious and is a clear problem. In this scenario the construction sector has focus points, as it is considered to be one of the activities with the greatest environmental impact on planet Earth, due to the high consumption of natural resources and the emission of Greenhouse Gases (GHG) throughout the building's life cycle. In line with the urgent need for changes in this sector, this work aimed to analyze the environmental impact of using conventional materials in civil construction by analyzing two hypothetical residential projects (case studies), which had two different aspects: their size and location in the urban area, both in the city of Presidente Prudente, Brazil. There was a comparison between the quantification of the carbon footprint and energy consumption of the two homes, which generated a discussion about the impact of conventional construction, based on the relationship between the materials used and their suppliers. The results showed that the choice of building materials and the transportation of suppliers have a major impact on both indicators. They therefore reaffirm the need for change in this industry embodied carbon generator.

Keywords: Civil construction; Carbon footprint; Embodied energy; Environment.

1 Introdução

O contexto mundial é constituído por uma realidade marcada por mudanças climáticas que estão constantemente mais frequentes e intensas na sociedade (Spignardi, 2016), um cenário em que os extremos climáticos têm se tornado comuns em diversas regiões do planeta (Pinheiro, 2024). Tais fatos ocasionam o aparecimento de diversas consequências à vida na Terra, sejam elas sociais, ambientais, econômicas, políticas e étnicas/culturais. Segundo dados do relatório do Painel Intergovernamental

sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), é possível afirmar que as ações humanas são as responsáveis pelas alterações climáticas na atualidade.

Essas atividades de ação antrópica, as quais estão inerentes à sociedade atual, provocam em grande parte a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, entre eles o dióxido de carbono (CO_2). O aumento da concentração desses gases se torna um dos principais responsáveis pelo fenômeno do aquecimento global, pois provoca maior retenção da quantidade de calor. Nesse sentido, o aquecimento global é considerado como um dos maiores desafios da sociedade moderna quanto à proteção do meio ambiente (Gan et al., 2017). Destarte, a relação das emissões de ação humana e os efeitos climáticos, além de serem comprovados tendem a aumentar a longo prazo (IPCC, 2018). Logo, com tal realidade e um futuro incerto, diversas atitudes devem ser repensadas a fim de garantir a manutenção da vida no planeta, e consequentemente minimizar os impactos de contínuos anos de exploração do meio ambiente (Braz e Silva, 2020).

Nesse sentido, os processos industriais são responsáveis por grande parte desses poluentes. Porém, o setor da construção civil – o qual cresce constantemente para suprir a demanda por moradias e infraestruturas urbanas – possui grande relevância. Ele é reconhecido como um dos que exercem maior impacto ambiental no planeta (Spignardi, 2016), se destacando como um dos maiores contribuintes de emissões de GEE (Kozloski et al., 2019). Tal fato é relacionado à necessidade do uso de recursos naturais por todo o ciclo de uma edificação, desde a “extração de matérias primas; produção e transporte de materiais e componentes; concepção de projetos; execução (construção), práticas de uso e manutenção e ao final da vida útil sua demolição/desmontagem [...]” (Agopyan; John, 2011, p. 15), aliado à alta demanda populacional (Montes, 2016).

Desse modo, há dados significativos relacionados à indústria da construção civil quanto ao consumo de matéria-prima extraída da natureza que varia entre 14% e 50% do total, ao consumo de recursos hídricos que equivale a 16%, ao consumo de energia que representa em média 40% (Tavares, 2006; Medeiros et al., 2018), e à geração de resíduos sólidos que propicia em torno de 40% e 70% do total (Medeiros et al., 2018). Além disso, este setor é responsável por 38% das emissões de CO_2 relacionadas à energia (UNEP, 2020). Em consonância, Montes (2016) destacou que o consumo de energia e as emissões de GEE são um dos principais focos do impacto da construção civil, relacionando diretamente ao aquecimento global e às mudanças climáticas.

Diante deste cenário, em busca da redução e/ou mitigação dos danos ambientais, ferramentas e instrumentos têm sido criados para a quantificação de tais impactos (Braz e Silva, 2020), à procura do desenvolvimento de metodologias que auxiliem na promoção de práticas construtivas mais sustentáveis (Silva, 2024). Dentre eles a pegada de carbono ou carbono incorporado, definida como uma ferramenta de avaliação e

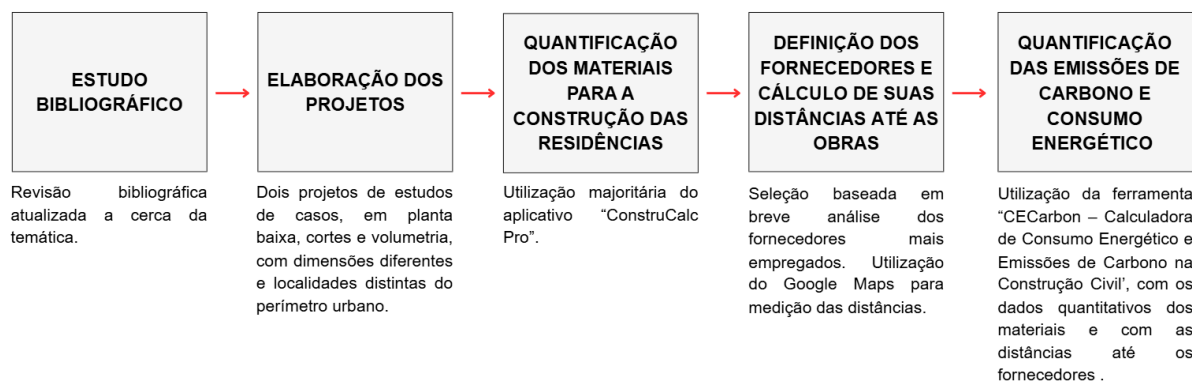
gerenciamento, que possui o objetivo de quantificar (em produto ou serviço) o total de emissões de GEE emitidas ao longo do seu ciclo de vida, contabilizando todo o processo de construção (Spignardi, 2016). E a energia incorporada que contabiliza a energia utilizada na fase pré-operacional da edificação, com a extração da matéria-prima até o fim de sua execução (Anapolski et al., 2020).

Nesse sentido, como uma forma de aprofundar a discussão nesta temática, este trabalho teve como objetivo analisar o impacto ambiental do uso de materiais convencionais na construção civil. Com esse propósito foi realizada a comparação da quantificação das emissões de carbono ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) e de consumo energético (MJ), de modo estimado, de duas edificações residenciais hipotéticas em fase de projeto (estudo de caso) que continham dois aspectos distintos: suas dimensões e localização na malha urbana, ambos no município de Presidente Prudente, SP. A análise foi constituída a partir da relação do uso de materiais convencionais da construção civil e da distância da obra até os fornecedores escolhidos.

2 Metodologia

O procedimento metodológico passou pelas etapas descritas na Figura 1 e que são apresentadas na sequência.

Figura 1. Esquema da metodologia aplicada.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

2.1 Características das residências estudadas

Foram elaboradas duas propostas de projeto de residências unifamiliares térreas, sendo estas localizadas no município de Presidente Prudente, Estado de São Paulo, que conta com aproximadamente 225.000 habitantes (IBGE, 2022), e um perímetro urbano de 174,42 km² (Prefeitura de Presidente Prudente, 2013).

Ambos os projetos foram dispostos em lotes de mesmas dimensões (200 m²), seguindo os critérios de execução de uma obra convencional, e utilizaram de materiais

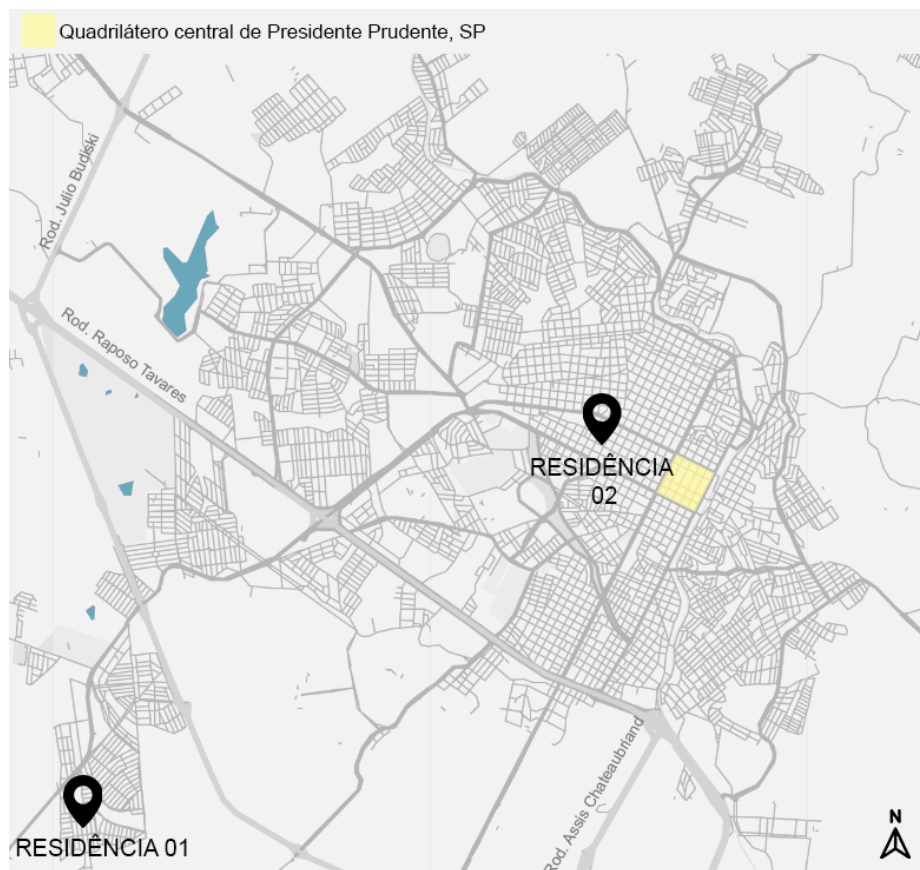
de construção adquiridos dos mesmos fornecedores. Suas diferenças consistiam na localização na malha urbana do município e na área construída, ou seja, elas foram localizadas em áreas distintas do perímetro urbano (periférico e central) (Quadro 1 e Figura 2).

Quadro 1. Dados da Residência 01 e Residência 02

	Residência 01	Residência 02
Área (m²)	45,05	100,32
Endereço	Rua Adelaide Cabrera Bilheiro – Jardim Novo Prudentino	Rua Barão do Rio Branco – Vila do Estádio
Distância até o marco central (km)	11,00	1,00
Ambientes	Sala, cozinha, área de serviço, dois quartos e um banheiro	Sala, cozinha, área de serviço, três quartos e dois banheiros

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Figura 2. Localização das residências na malha urbana do município



Fonte: Mapstyles, modificada pelos autores, 2025.

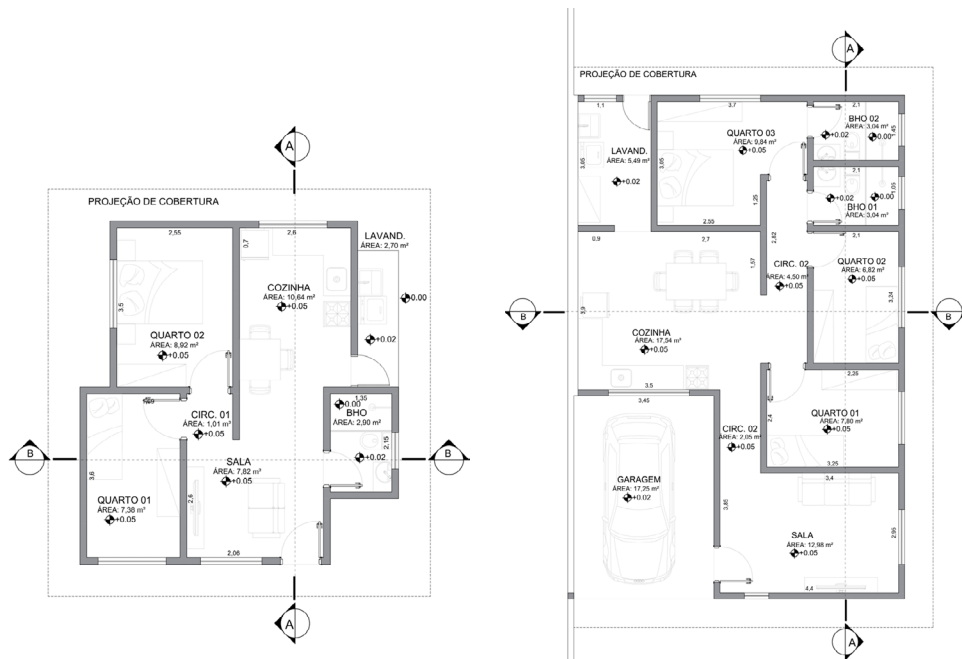
Para cada uma das propostas foram elaborados: maquete eletrônica, planta baixa e dois cortes; a fim de obter o melhor entendimento para as análises posteriores (Figuras 3 a 6).

Figura 3. Imagem 3D Residência 01 (esquerda) e Residência 02 (direita)



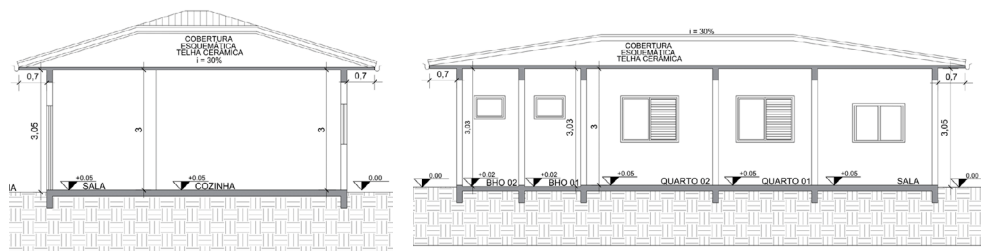
Fonte: Autoral, 2025.

Figura 4. Planta baixa Residência 01 (esquerda) e Residência 02 (direita)

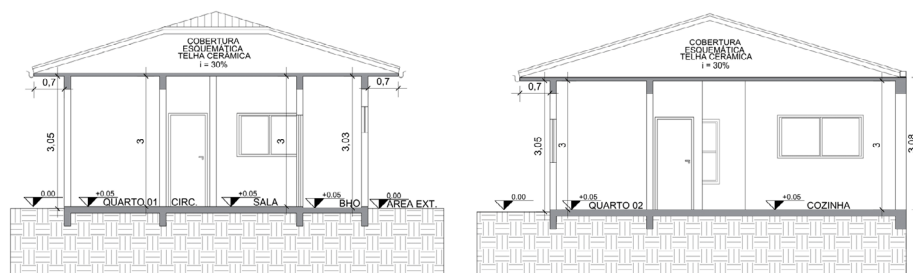


Fonte: Autoral, 2025.

Figura 5. Corte AA Residência 01 (esquerda) e Residência 02 (direita)



Fonte: Autoral, 2025.

Figura 6. Corte BB Residência 01 (esquerda) e Residência 02 (direita)

Fonte: Autoral, 2025.

2.2 Utilização da calculadora ‘CECarbon’: quantificação das emissões de carbono e do consumo energético

Esta fase foi centrada em calcular a quantificação das emissões de carbono e do consumo energético dos dados dos projetos residenciais, ou seja, relacionados antes do início da obra. Para isso, em uma etapa anterior foi necessária a quantificação de cada um dos materiais que seriam utilizados na construção das duas residências hipotéticas, para posterior cálculo dos indicadores analisados, utilizando majoritariamente do aplicativo ‘ConstruCalc Pro’. Na interface do aplicativo ConstruCalc Pro é possível calcular, por meio das dimensões e características dos projetos, o quantitativo dos materiais de construção necessários (exemplo: areia, cimento, brita, água, madeiramento, ferragem, blocos cerâmicos, entre outros), de acordo com o necessário em cada etapa definida de construção hipotética das residências (exemplo: fundações, estruturas, alvenarias, revestimentos, esquadrias, cobertura e pintura). Então é obtido um relatório, gerado após o preenchimento dos dados da etapa selecionada.

Com estes dados se iniciou a quantificação das emissões de carbono e de consumo energético na ferramenta ‘CECarbon – Calculadora de Consumo Energético e Emissões de Carbono na Construção Civil’, levando em consideração os mais relevantes insumos utilizados na construção civil.

A ferramenta CECarbon foi desenvolvida pelo SindusCon-SP (2021), mediante seu Comitê de Meio Ambiente (COMASP) e a Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), tendo como premissa o Comitê Técnico CEN/TC 350, da União Europeia, por meio de normas como UNE EN 15643 (2021) e UNE EN 15978 (2011), que envolvem desde a sustentabilidade na construção como também aborda aspectos ambientais, entre eles a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da edificação.

A CECarbon é enquadrada como um requisito que atende à Portaria nº 959 (Brasil, 2021), de 18/05/2021 do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), no que se refere a habitações novas subsidiadas pelo Programa Casa Verde e Amarela. Na CECarbon os dados de entrada se referem aos materiais utilizados em cada etapa construtiva, bem como demais insumos complementares. Neste caso, o cálculo da

pegada de carbono e do consumo energético (ou energia embutida) se refere até a entrega final da edificação, não considerando as etapas de operação e final de vida útil. Ou seja, o parâmetro das emissões é referente ao conjunto de GEE – (CO_2 , CH_4 , N_2O , CFCs, SF_6) –, que serão quantificados em toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}) e o consumo energético em mega joule (MJ).

Na CECarbon são considerados os módulos A1, A2 e A3 (estágio do produto) e os módulos A4 e A5 (estágio do processo de construção), ambos referentes às prescrições da UNE EN 15978 (2011). Nos Quadros 2 e 3 podem ser visualizados os parâmetros de cálculo e as etapas – ciclo de vida da edificação – que são consideradas na ferramenta. Cabe também informar que a CECarbon apresenta em seu relatório gerado o conteúdo de carbono armazenado conforme o número de árvores típicas da Mata Atlântica, e a energia incorporada (referente ao total de insumos utilizados na edificação) necessária para abastecer casas brasileiras habitadas por uma família de 4 pessoas em cada.

Quadro 2. Ciclos definidos pela UNE EN 15978 (2011) com destaque para os parâmetros considerados na CECarbon

Produto			Construção		Uso					Fim de Vida				Benefícios
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Extração matérias primas	Transporte matérias primas	Manufatura	Transporte	Construção e instalação de processos	Uso	Manutenção	Reparo	Substituição	Reforma	Desconstrução/Demolição	Transporte resíduos	Processamento resíduos	Disposição final	Reuso, Recuperação, Reciclagem
					B6	Energia operacional								
					B7	Água operacional								

Fonte: adaptado da UNE EN 15978 (2011).

Quadro 3. Parâmetros e etapas construtivas na CECarbon

Parâmetros mensurados	
Emissões de GEE: medido em toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e})	Consumo energético ou energia embutida: medida em mega joule (MJ)
Fronteiras do ACV	
A CECarbon oferece resultados para a fronteira de berço a entrega da obra, levando em consideração as fases do produto e da construção, e que equivale ao intervalo A1-A5 da UNE EN 15978 (2011)	

Etapas construtivas
Serviços preliminares
Fundações
Estrutura
Vedações
Revestimentos
Esquadrias e vidros
Pintura
Cobertura
Pavimentação e infraestrutura
Instalações prediais

Fonte: adaptado de <https://www.youtube.com/watch?v=nfvEu2RMmFk>

2.3 Fornecedores

Durante o procedimento de cálculo na CECarbon houve a inclusão do quantitativo de materiais de construção utilizados na construção das residências, que tiveram sempre os mesmos fornecedores (instalados no município de Presidente Prudente e escolhidos a partir de uma breve análise dos mais comumente solicitados). Posteriormente foi realizada a análise das distâncias dos fornecedores dos materiais até as Residências 01 e 02, visualizada na Tabela 1.

Tabela 1. Fornecedores dos materiais de construção

Fornecedor	Materiais	Atividade	Distância até a Residência 01 (km)	Distância até a Residência 02 (km)
1	Solo	Aterro	14,2	4,8
2	Concreto usinado	Concretagem	5,0	5,1
3	Madeira	Fôrmas e esquadrias	12,2	3,8
4	Argamassa, blocos, esquadrias, telhas, hidráulica e elétrica	-	10,1	3,7
5	Vidro	Esquadrias	12,8	4,4
6	Tinta	Pintura	11,4	2,0
7	Caçamba	Entulho	9,2	2,8
8	Revestimento cerâmico, louça sanitária	-	7,4	3,7
9	Aço	Armação	12,2	3,8
10	Laje pré-moldada	-	1,3	9,2

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

3 Resultados e discussões

A partir dos relatórios obtidos pela CECarbon, foi possível analisar os resultados da emissão de GEE e da energia consumida pelos projetos das duas residências hipotéticas antes do início de sua construção. Nesse cálculo foram consideradas a quantificação dos materiais de cada residência, a quantidade de percursos realizados até a obra, e a respectiva distância até o fornecedor selecionado. Os resultados serão apresentados na sequência do texto.

3.1 Por fonte individual

O relatório gerado apresentou os dados de cada residência por fonte individual, ou seja, por material utilizado (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Resultado por fonte individual da Residência 01

Residência 01					
	Fonte	Dados de atividade (quantidade)	Unidade do dado de atividade	Fator de emissão de GEE (tCO ₂ e/unidade)	Fator de consumo energético (MJ/unidade)
1	Telha cerâmica	3,42	t	760,00	5437,80
2	Tinta à base d'água	0,04	t	2540,00	2246,72
3	Aço	0,44	t	1900,00	13311,00
4	Areia	1,77	t	2,39	72,63
5	Cimento CP II - E	0,31	t	649,67	914,90
6	Concreto 25MPa	13,03	m ³	173,81	11556,64
7	Esquadrias de madeira (portas)	90,00	kg	2,23	2520,00
8	Eletroduto de PVC	52,68	m	7,82	2728,82
9	Bloco cerâmico	2,08	t	240,00	5236,56
10	Vidro plano	0,09	t	650,00	937,19
11	Esquadrias de aço	108,50	kg	1,95	3255,00
12	Cabos (fiação)	142,68	m	0,25	485,11
13	Argamassa 1 (1:2:8)	10,36	t	118,42	7235,64
14	Tinta à base de solvente	0,00	t	3760,00	1261,00
15	Produtos sanitários (louças)	0,07	t	1980,00	2114,52
16	Revestimentos cerâmicos	1,31	t	514,00	10979,15
17	Argamassa colante	0,45	t	142,00	403,72
18	Tubo de PVC - água	79,02	m	1,54	2038,72
19	Tubo de PVC - esgoto	138,29	m	2,10	2529,32

Residência 01					
	Fonte	Dados de atividade (quantidade)	Unidade do dado de atividade	Fator de emissão de GEE (tCO2e/unidade)	Fator de consumo energético (MJ/unidade)
20	Madeira bruta serrada (nativa)	2,39	t	1649,00	3293,05
21	Bloco cerâmico - VED15 (11,5x14x24) cm	3,29	t	153,04	14500,21
22	Transporte de solo	28,00	L/km	0,42	176,42
23	Transporte de resíduos (downstream)	28,00	L/km	0,42	176,42
24	Consumo de energia elétrica	1,00	MWh	0,08	3600,00

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Tabela 3. Resultado por fonte individual da Residência 02

Residência 02					
	Fonte	Dados de atividade (quantidade)	Unidade do dado de atividade	Fator de emissão de GEE (tCO2e/ unidade)	Fator de consumo energético (MJ/ unidade)
1	Telha cerâmica	5,47	t	760,00	8700,48
2	Tinta à base d'água	0,07	t	2540,00	4004,92
3	Aço	0,78	t	1900,00	23457,00
4	Areia	3,03	t	2,39	124,38
5	Cimento CP II - E	0,53	t	649,67	1566,77
6	Concreto 25MPa	23,06	m³	173,81	20454,95
7	Esquadrias de madeira (portas)	135,00	kg	2,23	3780,00
8	Eletroduto de PVC	117,07	m	7,82	6064,23
9	Bloco cerâmico	3,41	t	240,00	8598,24
10	Vidro plano	0,13	t	650,00	1417,68
11	Esquadrias de aço	158,15	kg	1,95	4744,50
12	Cabos (fiação)	317,07	m	0,25	1078,04
13	Argamassa 1 (1:2:8)	17,75	t	118,42	12391,74
14	Tinta à base de solvente	0,00	t	3760,00	143,56
15	Produtos sanitários (louças)	0,11	t	1980,00	3373,76

Residência 02					
	Fonte	Dados de atividade (quantidade)	Unidade do dado de atividade	Fator de emissão de GEE (tCO ₂ e/unidade)	Fator de consumo energético (MJ/unidade)
16	Revestimentos cerâmicos	2,14	t	514,00	17946,21
17	Argamassa colante	0,73	t	142,00	659,75
18	Tubo de PVC - água	175,61	m	1,54	4530,74
19	Tubo de PVC - esgoto	307,32	m	2,10	5620,88
20	Madeira bruta serrada (nativa)	4,27	t	1649,00	5882,81
21	Bloco cerâmico - VED15 (11,5x14x24) cm	5,63	t	153,04	24834,21
22	Transporte de solo	10,00	L/km	0,42	63,01
23	Transporte de resíduos (downstream)	21,00	L/km	0,42	132,32
24	Consumo de energia elétrica	1,00	MWh	0,08	3600,00

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

De acordo com as Tabelas 2 e 3, o material que apresentou maior emissão de GEE em ambas as residências foi a ‘madeira bruta serrada (nativa)’. Esse resultado aparenta certa controvérsia com alguns estudos que apontam o uso da madeira como “uma alternativa eficaz para reduzir os índices de CO₂ na atmosfera” (Anapolski et al, 2020). Embora a elevada quantidade de material nas duas residências nas etapas de ‘estruturas’ e ‘cobertura’, a madeira nativa apresentou alto fator de emissão de GEE, segundo a base de dados da CECarbon.

Este fato é explicado, segundo Oliveira et al. (2024), pelo fato como a madeira nativa é explorada e está diretamente relacionada à intensidade de extração da biomassa, tendo como consequência impacto na recuperação da floresta e de seus estoques de carbono. Logo, os processos de extração, beneficiamento e transporte da madeira nativa devem ser rigorosamente avaliados. Em concordância com Agopyan e John (2011), o qual colocaram a extração da madeira não manejada como uma das principais fontes de emissões de GEE dos materiais, os citados autores apontaram o consumo de madeira certificada ou madeira de plantação como uma alternativa para o uso deste material.

A fonte individual com maior consumo energético em ambas as residências foi o ‘bloco cerâmico’ com dimensões de 11,5 x 14 x 24 cm. Tal resultado está relacionado à utilização de grande quantidade deste material na etapa de vedação vertical, aliado ao

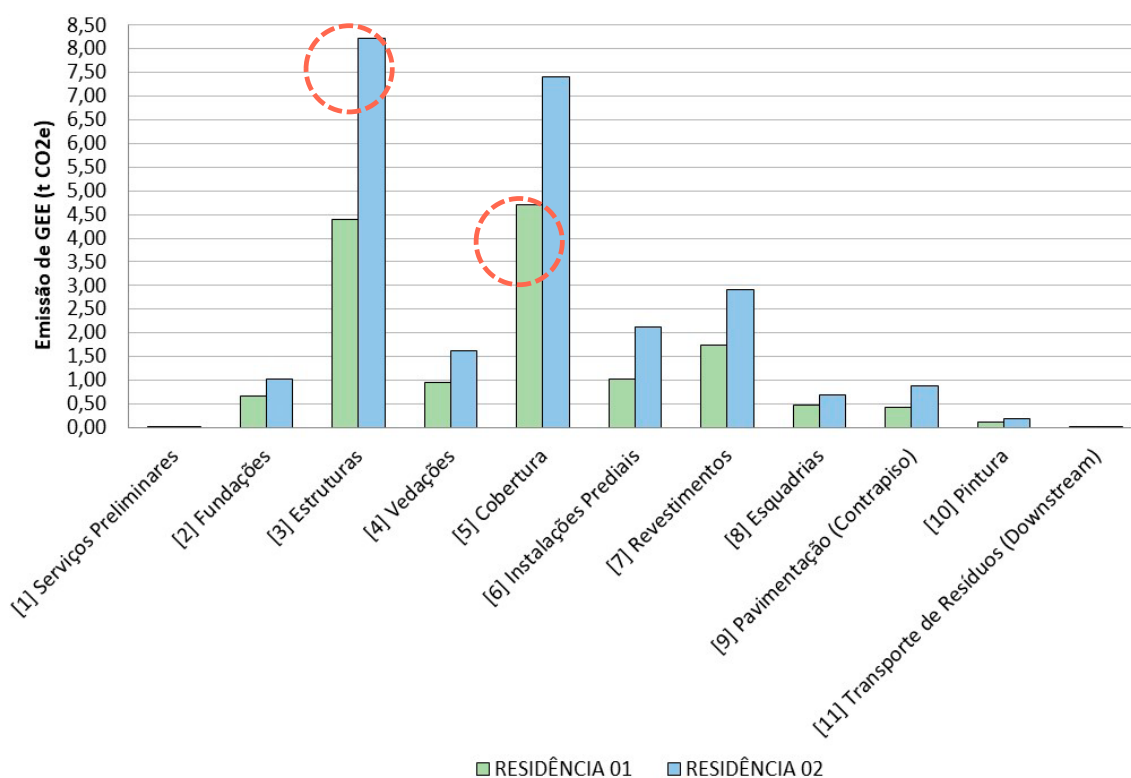
seu alto fator de consumo energético decorrente de elevada necessidade de aplicação de calor em seu processo de fabricação, oportunidade em que são utilizadas altas temperaturas nos fornos e fornalhas, o que demanda uma grande quantidade de energia (Manfredini e Sattler, 2005).

Na análise por fonte individual este é o único resultado em que os valores independem do transporte do fornecedor à residência estudada (considerando apenas os dados incorporados ao material), ou seja, sua análise de ciclo de vida que aborda desde sua extração, transporte, processamento do material e sua instalação; correlacionando valores presentes no banco de dados da CECarbon [módulos A1, A2, A3, A4, A5 – UNE EN 15978 (2011)].

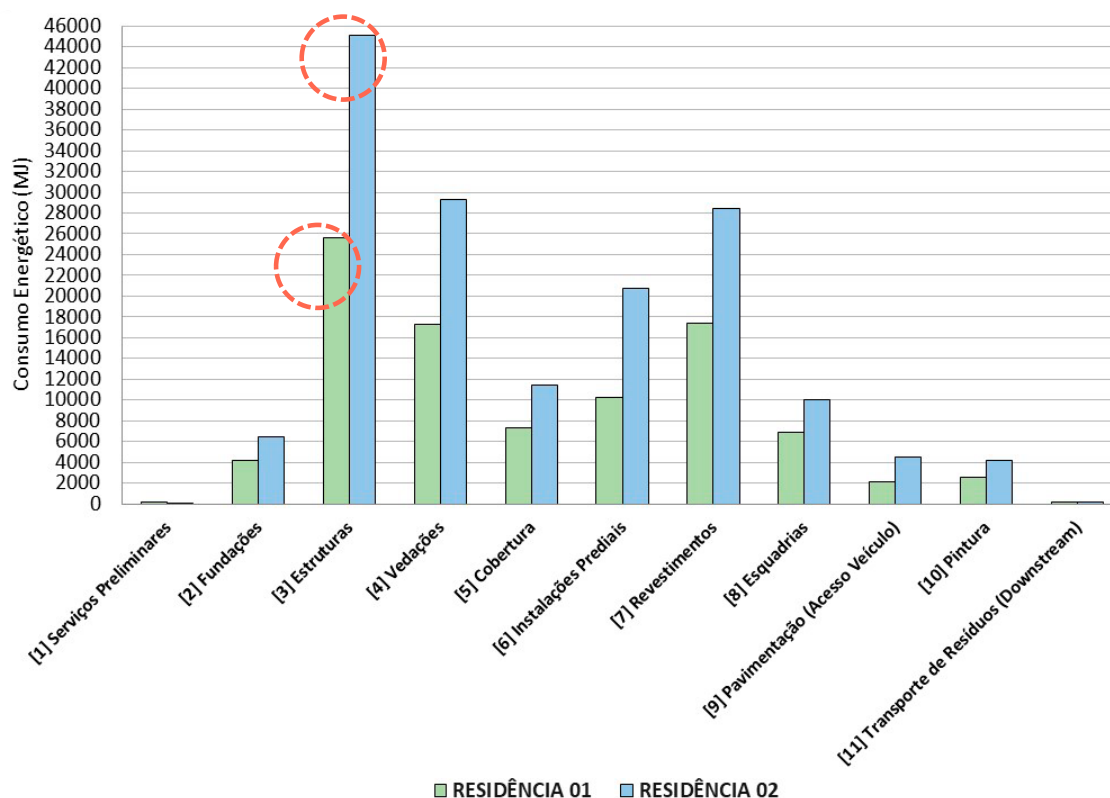
3.2 Por etapa de obra

O resultado de cada etapa da obra considerada pela CECarbon será apresentado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7. Emissões de GEE em tCO₂e por etapa de obra



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Figura 8. Consumo energético (MJ) por etapa de obra

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Conforme os dados das Figuras 7 e 8, é notório que embora as residências possuam áreas construídas que configuram praticamente o dobro uma da outra (45,05 m² contra 100,32 m²), este fato não se repete nos resultados de emissão de GEE (tCO_{2e}) e de consumo energético (MJ) das etapas analisadas, os quais possuem diferenças moderadas em grande parte. Sendo possível destacar a influência do transporte, ou seja, da distância ‘fornecedor’ x ‘residência’ nos resultados apresentados.

Com o objetivo de compreender melhor os resultados, diante do destaque da variável de transporte, é interessante destacar alguns casos em que as diferenças entre as distâncias ‘fornecedor’ x ‘residência’ das duas residências estudadas foram expressivas, refletindo nos parâmetros analisados. Com diferenças maiores que 8 km da Residência 01 em relação à Residência 02, estes foram os casos do ‘Fornecedor 1’ (9,4 km), ‘Fornecedor 3’ (8,4 km), ‘Fornecedor 5’ (8,4 km), ‘Fornecedor 6’ (9,4 km) e ‘Fornecedor 9’ (8,4 km). Há apenas duas situações em que a Residência 02 possui valor superior nas distâncias, este é o caso do ‘Fornecedor 2’ (100 m) e do ‘Fornecedor 10’ (7,9 km).

O impacto relacionado ao transporte dos materiais, principalmente o transporte do fornecedor à obra, está diretamente relacionado às emissões de CO₂. Tais gases são oriundos dos combustíveis fósseis empregados no principal modelo de transporte utilizado no Brasil, o rodoviário (Anapolski et al., 2020). Em consonância, segundo Wei et al. (2024), cerca de 29,4% das emissões deste tipo de transporte são provenientes da movimentação de cargas.

A partir deste entendimento, as etapas de obra com maiores emissões de GEE (tCO_2e) foram a ‘cobertura’ para a Residência 01 e a ‘estrutura’ para a Residência 02. Em relação ao consumo energético (MJ), em ambos os casos a vertente ‘estrutura’ se destacou com o maior resultado.

Na etapa de ‘cobertura’ os materiais empregados foram a telha cerâmica e a madeira bruta serrada (nativa). Ambos com grande quantidade de massa e com altos fatores de emissão de GEE. Os fornecedores desta etapa foram os de números ‘3’ e ‘4’, os quais apresentaram elevada disparidade de distâncias até as residências, com a Residência 01 assumindo os maiores valores. Nesse sentido, os resultados apontaram o transporte dos fornecedores até as residências como um fator de influência deste resultado.

Enquanto na etapa de ‘estrutura’ a situação foi diferente. Nela as fontes individuais empregadas foram o ‘concreto 25 MPa’, a ‘madeira bruta serrada (nativa)’, o ‘aço’ e o ‘bloco cerâmico’ (empregados na laje). Todos com elevado carbono incorporado e energia incorporada, principalmente o aço que apresentar elevado fator de consumo energético pelos processos de produção, e o concreto com a obtenção do clínquer no cimento (Farias et al., 2022). Foram utilizados os fornecedores de números ‘2’, ‘4’, ‘9’ e ‘10’ (possuindo um ponto de destaque), sendo que embora as distâncias da Residência 01 aos fornecedores ‘4’ e ‘9’ fossem superiores (8,4 km), nos fornecedores ‘2’ e ‘10’ isto foi inverso, pois a Residência 02 apresentou maiores valores mesmo que em menor grau, 100 m e 7,9 km, respectivamente. Demonstrando novamente que o transporte é um fator importante no resultado das emissões de GEE e na energia incorporada.

Na etapa de ‘serviços preliminares’ foi contabilizada a movimentação de solo. Como os lotes de ambas as residências eram de áreas iguais (200 m^2) e tinham as mesmas condições de desnível, foram considerados 40 m^3 de solo para o seu nivelamento. Esta foi a única etapa que a quantidade de materiais não se diferenciava entre as Residências 01 e 02, e a distância ‘fornecedor’ x ‘residência’ foi a única variável considerada.

Nesse sentido, a partir dos dados da Tabela 5 a Residência 01 apresentou valor superior em cerca de 178% quando comparado ao da Residência 02, em ambos os indicadores. No que se refere às emissões de CO_2 , foram observados valor de $0,00026 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$ (ou $0,26 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$) para a Residência 01 e de $0,00004 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$ (ou $0,04 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$) para a Residência 02. Em relação ao consumo energético, valores de $3,92 \text{ MJ}/\text{m}^2$ e $0,63 \text{ MJ}/\text{m}^2$, respectivamente. Tal fato demonstra o impacto exclusivo do transporte de materiais nos resultados de emissão de carbono e de consumo energético, a partir do ‘Fornecedor 1’, com uma distância de 9,4 km de diferença da Residência 01 em relação à Residência 02.

Tabela 5. Dados da etapa de serviços preliminares

	Residência 01	Residência 02
Emissão de GEE (tCO _{2e})	0,0117	0,0042
Consumo energético (MJ)	176,4224	63,008

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

A etapa de ‘esquadrias e vidros’ também obteve resultados interessantes. Utilizando dos fornecedores números ‘3’, ‘4’, e ‘5’, em que todos possuem uma diferença de mais de 6 km nas distâncias ‘fornecedor’ x ‘residência’, referente a Residência 01 em relação à Residência 02. Desta maneira, conforme Tabela 6, os dados desta etapa continuaram com tendência de não seguirem a lógica relacionada à dimensão das residências. Em que a Residência 02 apresentou valores aproximadamente 44% superiores em relação à Residência 01, embora com quantidades de materiais proporcionais à sua dimensão. Isso representa valor de emissões da Residência 01 de 0,010 tCO₂/m², enquanto para a Residência 02 foi de 0,007 tCO₂/m². Quanto ao consumo energético, valores de 153,89 MJ/m² e 99,86 MJ/m², respectivamente. Novamente as grandes distâncias no transporte dos fornecedores demonstraram-se importantes.

Tabela 6. Dados da etapa de esquadrias e vidros

	Residência 01	Residência 02
Emissão de GEE (tCO _{2e})	0,4832	0,6996
Consumo energético (MJ)	6932,7132	10017,7916

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Além disso, a ‘pintura interna e externa’ foi uma etapa com resultados relevantes de se destacar. Utilizando do ‘Fornecedor 6’ em que a distância ‘fornecedor’ x ‘residência’ da Residência 01 foi superior a 11 km, enquanto para a Residência 02 foi de apenas 2 km. Como na etapa anterior, a partir dos dados da Tabela 7, o transporte foi novamente um fator relevante. Com valores na Residência 02 superiores em cerca de 60% em relação à Residência 01, em tendência de valores inferiores à quantidade de materiais utilizados. O que equivale em relação às emissões de CO₂ da Residência 01 valor de 0,0024 tCO₂/m², enquanto para a Residência 02 foi de 0,0018 tCO₂/m². Referente ao consumo energético apresentou valores de 55,75 MJ/m² e 41,60 MJ/m², respectivamente

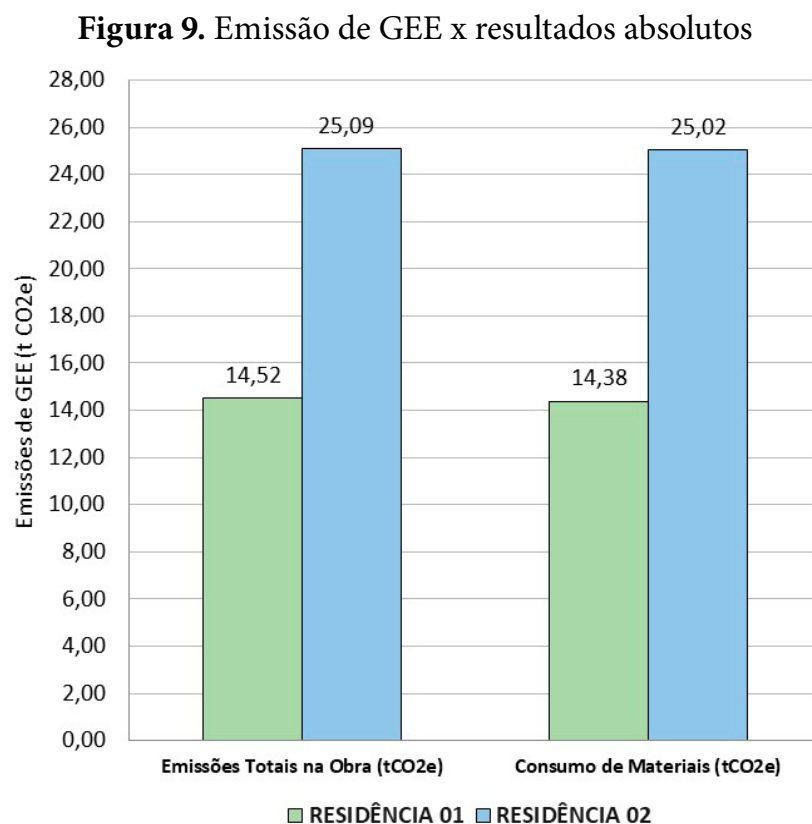
Tabela 7. Dados da etapa de pintura interna e externa

	Residência 01	Residência 02
Emissão de GEE (tCO _{2e})	0,1106	0,1797
Consumo energético (MJ)	2511,4376	4173,6832

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

3.3 Resultados absolutos: total da obra e consumo de materiais

A Figura 9 aponta os resultados das emissões de CO₂ totais na obra e as emissões relacionadas aos materiais de cada residência analisada.

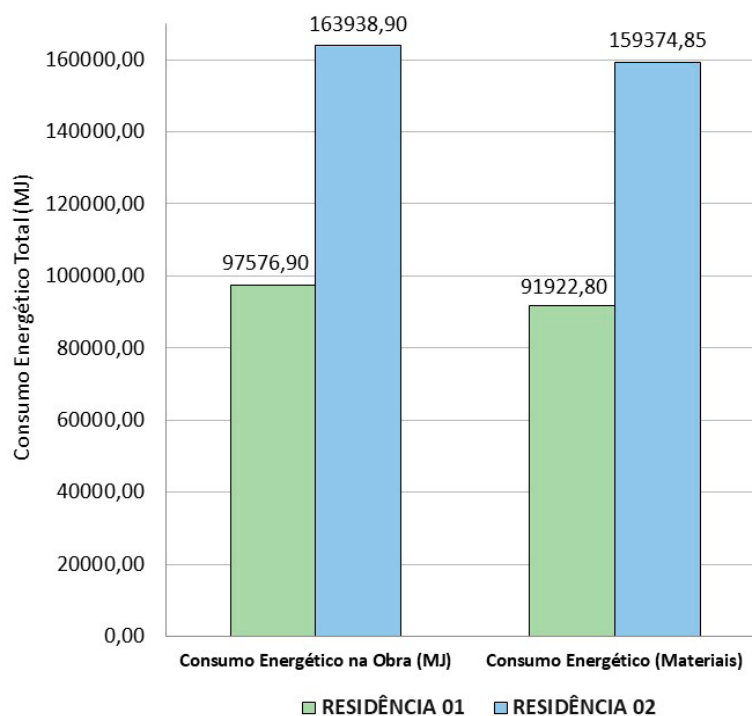


Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Novamente a tendência abordada no tópico anterior em relação aos valores obtidos se repetiu nestes resultados, ou seja, a Residência 01 (45,05 m²) não apresentou valores que representassem menos da metade de sua dimensão quando comparada à Residência 02 (100,32 m²), nos resultados das emissões totais de obra e nas emissões de consumo de materiais. A Residência 01 apresentou valor de 57% em relação ao resultado da Residência 02, referente aos dois parâmetros analisados.

É evidente que as emissões relacionadas ao total da obra, bem como as emissões relacionadas ao consumo de materiais possuem valores praticamente iguais em ambas as residências. A diferença mínima entre os dois resultados, de acordo com o relatório da CECarbon, é decorrente principalmente do transporte de resíduos até o aterro sanitário, o qual é considerado nos valores totais da obra, cujas distâncias são de 14 km até a Residência 01 e 7 km até a Residência 02. Tal fato ocasionou um aumento de 0,97% de emissões de GEE na Residência 01 e de 0,27% na Residência 02. Demonstrando mais uma vez a relevância das distâncias percorridas pelo transporte rodoviário.

A Figura 10 apresenta os resultados de consumo energético totais na obra e os relacionados aos materiais de cada residência analisada.

Figura 10. Consumo energético x resultados absolutos

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Quanto ao consumo energético a partir dos dados apresentados na Figura 10, a Residência 01 apresentou resultado de aproximadamente 59% nos dois casos em relação aos da Residência 02, ou seja, valores ainda maiores quando comparados ao da emissão de GEE.

O mesmo fato se repete quando comparamos os valores do consumo energético total da obra aos valores do consumo energético relacionado ao consumo de materiais de cada uma das residências, ou seja, a diferença entre os resultados é maior quando comparada aos das emissões. Isso é decorrente do transporte de resíduos até o aterro sanitário que ocasionou um aumento de 6% de consumo energético total na Residência 01 e de 2% na Residência 02.

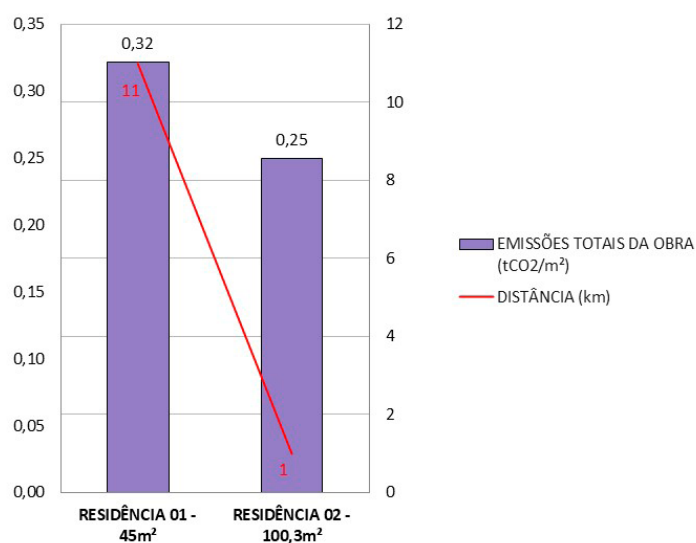
Diante desses dois indicadores é possível notar valores expressivos de emissão de CO₂ e de consumo energético para a construção dessas edificações.

A Residência 01 (45,05 m²), localizada em uma região afastada da malha urbana, apresentou emissão total de 14,52 tCO₂ e consumo de mais de 97 mil MJ apenas na fase de construção. O mesmo aconteceu com a Residência 02 (100,32 m²), localizada em uma região mais central do município, que apresentou resultado de 25,09 tCO₂ e consumo de mais de 163 mil MJ nesta fase. Conforme Lima et al. (2018), em proporção à metragem construída, esse resultado não destoou de seus estudos que indicaram a emissão de cerca de 19 tCO₂ para uma residência de 80 m². Dessa forma, é válido ressaltar a importância desses resultados para a compreensão do impacto da construção civil convencional alinhando o transporte rodoviário a este entendimento.

3.4 Indicador x metragem total da obra

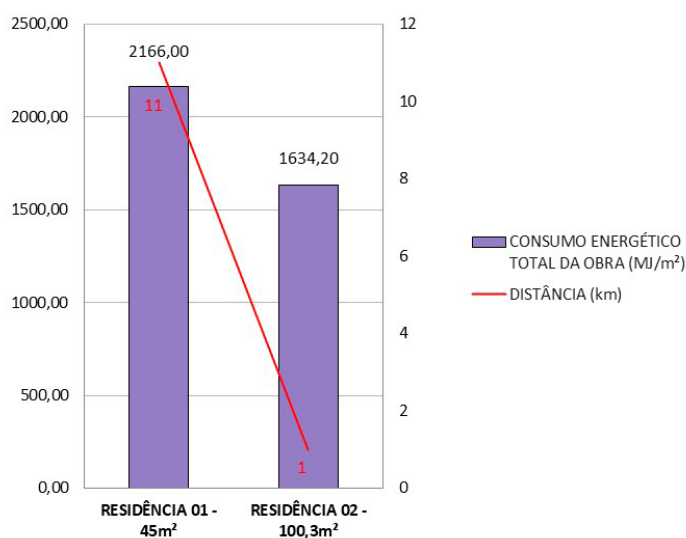
Quanto às emissões totais da obra, a Residência 01 apresentou resultado de $0,3222 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$ e a Residência 02 teve $0,2501 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$ (Figura 11). Em relação ao consumo energético total da obra, a Residência 01 apresentou $2166 \text{ MJ}/\text{m}^2$ enquanto a Residência 02 teve $1634,2 \text{ MJ}/\text{m}^2$ (Figura 12). Logo, a Residência 01 que tem menor área de construção (representa 44,9% em relação à Residência 02) e mais afastada (11 km do centro), apresentou os mais elevados impactos. Sendo possível afirmar que a influência do transporte rodoviário dos fornecedores até a obra se mostrou um fator de grande relevância para este resultado geral.

Figura 11. Emissões totais da obra por m^2 x distância da residência ao centro comercial



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Figura 12. Consumo energético total da obra por m^2 x distância da residência ao centro comercial



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

4 Considerações finais

Ficou notória a necessidade de atenção quanto a forma convencional pela qual se realiza o processo de execução no setor da construção civil. Neste trabalho, em contexto de uma cidade média localizada no oeste do Estado de São Paulo, em que as distâncias nas análises não passavam de 15 km, embora constitua valores reduzidos quando comparado às capitais do país, o indicador transporte interno de fornecedores se mostrou como um importante agente no impacto dos resultados.

A Residência 01, localizada em um bairro à cerca de 11 km do centro do município, apresentou resultados referentes à emissão de CO₂ equivalentes ao conteúdo armazenado em 101,61 árvores típicas da Mata Atlântica. Enquanto a Residência 02, com o dobro de sua área construída, localizada a 1 km do centro do município, apresentou neste mesmo indicador o equivalente a 175,60 árvores típicas da Mata Atlântica. Quando verificado o consumo energético das residências, os resultados podem ser relacionados ao consumo necessário para abastecer 3,14 casas de famílias médias brasileiras com 4 pessoas anualmente na Residência 01, e de 5,27 casas na Residência 02.

O estudo traz como principal contribuição a apresentação por meio de estudo de caso na fase de projeto, entre duas edificações unifamiliares, o qual demonstra que a área construída não é a única variável a ser analisada quanto ao impacto ambiental relacionado à emissão de GEE e ao consumo energético. A escolha dos materiais a serem utilizados e o transporte rodoviário durante o período de construção, possuem papel de grande influência. Tais achados auxiliam a importância para se repensar como é feita a arquitetura convencional na atualidade, objetivando um olhar crítico e amplo voltado a práticas mais sustentáveis.

Logo, para um setor fundamental na sociedade que promove o desenvolvimento social e urbano, é imprescindível que ocorra uma mudança nesta indústria que vise o desenvolvimento de novas tecnologias e práticas responsáveis. Destarte, é necessária a transparência dos dados relacionados à análise do ciclo de vida de cada material, algo que deve ser cobrado das indústrias para a promoção de maior base de dados brasileira, a qual na atualidade é considerada escassa. Tal ação irá permitir a seleção de materiais com menor impacto entre os profissionais da área.

Como sugestão de diretriz para pesquisas futuras é indicada a ampliação da base amostral por meio da realização de novos estudos de casos em diferentes áreas do município de Presidente Prudente, com o intuito de aprofundar essa temática com evidências mais precisas. Por fim, recomenda-se a aplicação desta temática em municípios de distintos portes e localizados em diferentes regiões do Brasil.

Referências

- AGOPYAN, V.; JOWN, V. M. *O desafio da sustentabilidade na construção civil*. n.3. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2016.
- ANAPOLSKI, A. A; SATTLER, M, A; TIMM, J. F. G; ZITTO, I. Avaliação da energia incorporada, carbono incorporado e pegada hídrica associadas à etapa de produção dos materiais utilizados no projeto da sede do CERES. In: VII ENSUS – *Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UNISUL*. Palhoça – SC, Brasil, 2020. p. 1-12.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT ISO 14064-1: Gases de efeito estufa. Parte 1: Especificação com orientação no nível da organização para quantificação e notificação de emissões e remoções de gases de efeito estufa*. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT ISO 14064-2: Gases de efeito estufa. Parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa*. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT ISO/TS 14067: Gases de efeito estufa – Pegada de carbono de produtos – Requisitos e orientações sobre quantificação e comunicação*. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT ISO/TR 14069: Gases de efeito estufa – Quantificação e elaboração de relatórios de emissões de gases de efeito estufa para as organizações – Orientação para a aplicação da ABNT NBR ISO 14064-1*. Rio de Janeiro, 2015.
- BRASIL. *Portaria nº 959, de 18 de maio de 2021*. Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA. Disponível em: <https://www.ibr.org.br/noticias/detalhes/portaria-n-959-de-18-de-maio-de-2021>. Acesso em: 5 abril 2024.
- BRAZ N. S.; SILVA L. H. V. Pegada de carbono: uma análise bibliométrica. *Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v.9, n.17, 2020.
- FARIAS, E. E. V.; OLIVEIRA, R.; SILVA, M. M. P.; MELO, T. A. Avaliação do ciclo de vida da construção civil habitacional brasileira. *Research, Society and Development*, [S.l.], v.11, n.1, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25360>.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo brasileiro de 2022*. Presidente Prudente: IBGE, 2022.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate change 2021: The physical science basis*. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report. [S.l.], [s.n.], 2021.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Global warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-Industrial Levels. [S.l.]: [s.n.], 2018.
- GAN, V, JL; CHENG J, CP; LO, I. MC; CHAN, CM. Developing a CO₂-e accounting method for quantification and analysis of embodied carbon in high-rise buildings. *Journal of Cleaner*

Production, v. 141, p. 825–836, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.126>.

KOZLOSKI, C.; VAGHETTI, M.; SILVA, B. Emissões de CO₂ na casa popular eficiente e o emprego de materiais alternativos. In: *III Encontro Latinoamericano y Europeo de Edificaciones y Comunidades Sostenibles*. Argentina, 2019. Euro ELECTS, 2019. p. 1-11.

LIMA, E. M.; FERNANDES, R. T. V.; DANTAS, L. Quantificação de CO₂ emitido decorrente dos materiais empregados na construção de uma residência unifamiliar. In: *Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia – CONTECC*, 2018, Maceió. 2018. p.1-5.

MANFREDINI, C.; SATTLER, M. A. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. *Ambiente Construído*, v.5, n.1, p. 23-37, 2005.

MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. *Ambiente Construído*, v.18, p.365-385, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000200259>.

MONTES, M. A. T. *Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas*. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

OLIVEIRA, C. G.; PUNHAGUI, K. R. G.; OLIVEIRA, L. S.; SILVA, F. B. Pegada de CO₂ da madeira nativa destinada à construção civil proveniente de diferentes tipos de exploração florestal. *Ambiente Construído*, v.24, p.e131844, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212024000100716>

PINHEIRO, G. F. SDG 13, the city planning, and civil construction: is it possible to prevent climate change catastrophes? O ODS 13, o planejamento das cidades, e a construção civil: é possível se prevenir de catástrofes das mudanças climáticas? *Concilium*, v.24, n.11, p.756-770, 2024.

PRESIDENTE PRUDENTE. *Lei complementar nº 193/2013*. Institui o novo perímetro urbano de Presidente Prudente. Disponível em: <https://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/documento/22325>. Acesso em: 03 abril 2024.

SINDUSCON-SP. Webinar lançamento curso CECarbon – Calculadora de consumo energético e emissões de carbono na construção civil. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/eventos/webinar-lancamento-curso-cecarbon-calculadora-de-consumo-energetico-e-emissoes-de-carbono-na-construcao-civil/>. 2021. Acesso em: 28 outubro 2024.

SILVA, I. S. H. *Cálculo comparativo da pegada carbônica de soluções construtivas em fase de projeto*. 2024. Dissertação de mestrado em Engenharia civil – Departamento de engenharia civil, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, Portugal, 2024.

SPIGNARDI, M. C. M. Pegada de carbono na construção civil: estudo de caso que evitou a emissão de mais de 62.000 ton CO_{2e} e reestruturou o setor de madeira nativa certificada no Rio de Janeiro. In: *XVIII ENGEMA – Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro, 2016.

UNA NORMA ESPAÑOLA. *UNE-EN 15643:2021: Sostenibilidad en la construcción. Marco para la evaluación de los edificios y las obras de ingeniería civil*. Madrid, Españã, 2021.

UNA NORMA ESPAÑOLA. *UNE-EN 15978:2011: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo*. Madrid, España, 2011.

UN ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. *Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019 – Relatório da ONU*. 2020. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-civil-atingiram>. Acesso em: 12 abril 2024.

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

Wei, X.; Ye, M.; Yuan, L.; Bi, W.; Lu, W. Analyzing the freight characteristics and carbon emission of construction waste hauling trucks: big data analytics of Hong Kong. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v.19, n.4, p.2318, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19042318>