



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS DE BALSAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JULIANA MARTINS VIDINHA RODRIGUES

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EMISSÃO DE CO₂
DECORRENTES DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS:
ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS E *INSULATED
CONCRETE FORMS* (ICF)**

**BALSAS-MA
2021**

Juliana Martins Vidinha Rodrigues

Análise comparativa da emissão de CO₂ decorrentes dos sistemas construtivos: Alvenaria de blocos cerâmicos e *Insulated Concrete Forms* (ICF)

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me Leandro Gomes Domingos

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Martins Vidinha Rodrigues, Juliana.

Análise comparativa da emissão de CO₂ decorrentes dos sistemas construtivos: Alvenaria de blocos cerâmicos e Insulated Concrete Forms ICF / Juliana Martins Vidinha Rodrigues. - 2021.

52 f.

Orientador(a): Leandro Gomes Domingos.

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, Balsas, 2021.

1. Avaliação do Ciclo de Vida. 2. Emissões de CO₂. 3. Sistema de alvenaria convencional de blocos cerâmicos. 4. Sistema ICF. I. Gomes Domingos, Leandro. II. Título.

Juliana Martins Vidinha Rodrigues

Análise comparativa da emissão de CO2 decorrentes dos sistemas construtivos: Alvenaria de blocos cerâmicos e *Insulated Concrete Forms* (ICF)

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 17 de setembro de 2021

Prof. Me. Leandro Gomes Domingos – Orientador

Profa. Ma. Claudiceia Silva Mendes – Examinador interno

Arq. Francisco Williamson Ribeiro de Oliveira – Examinador externo

Balsas-MA

2021

RESUMO

A indústria da construção civil brasileira é uma das grandes responsáveis pelo desenvolvimento econômico e social do país, mas também é um dos setores que mais contribui para emissão de gases causadores do efeito estufa, tais como, dióxido de carbono (CO₂), responsáveis pelo problema do aquecimento global. A escolha de determinadas tecnologias e uso de recursos não renováveis têm gerado grandes impactos ambientais. Diante disso, tem-se buscado encontrar novas maneiras de construir, que visem o consumo consciente dos recursos naturais e reduzam a emissão de CO₂. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é quantificar a emissão de CO₂ gerada na execução de uma unidade residencial unifamiliar, localizada na cidade de Balsas- MA, analisando as emissões de dióxido de carbono resultantes do emprego de dois sistemas construtivos diferentes: sistema convencional de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos e o sistema *Insulated Concrete Forms* (ICF). A quantificação de CO₂ foi realizada através da metodologia proposta por Tavares (2006) a qual realiza uma Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) de edificações a fim de analisar os impactos ambientais gerados pelos processos construtivos. Com isso, o resultado indicou que o sistema ICF emitiria 30,72% menos CO₂ quando comparado o sistema convencional de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos. Sendo assim, o sistema ICF é mais benéfico do ponto de vista ambiental, contribuindo para que a construção da unidade residencial gere menos impactos ambientais.

Palavras-chave: Emissões de CO₂. Avaliação do Ciclo de Vida. Sistema de alvenaria convencional de blocos cerâmicos. Sistema ICF.

ABSTRACT

The Brazilian construction industry sector is one of the major responsible for the country's economic and social development, but it is also one of the sectors that contributes for the most greenhouse gases emission, such as carbon dioxide (CO₂), responsible for the global warming problem. Certain technologies choice and non-renewable resources use have generated major environmental impacts. Therefore, it has been sought to find new ways of building, which aim at the natural resources' conscious consumption, and reduce the emission of CO₂. Thus, the objective of this work is to quantify the CO₂ emission generated during the execution of a single-family residential unit, located in the city of Balsas- MA, analyzing the carbon dioxide emissions resulting from the use of two different building systems: conventional masonry construction system with ceramic blocks and the Insulated Concrete Forms (ICF) system. The quantification of CO₂ was performed using the methodology proposed by Tavares (2006), which performs an Energy Life Cycle Assessment (ELCA) of buildings to analyze the environmental impacts generated by construction processes. With this, the result indicated that the ICF system would emit 30.72% less CO₂ when compared to the conventional masonry fencing system with ceramic blocks. Thus, the ICF system is more beneficial from the environmental point of view, contributing to the construction of the residential unit generating less environmental impact.

Keywords: CO₂ emissions. Life cycle assessment. Conventional ceramic block masonry system. ICF system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Contribuição para as emissões do setor de processos industriais em 2010.	15
Figura 2 - Fases de uma ACV.	17
Figura 3 - Ligação entre alvenaria e pilar de concreto armado.	23
Figura 4 - Fôrma iforms 18 estrutural.	24
Figura 5 – a) Execução de radier; b) Marcação das paredes	24
Figura 6 – Ancoragem das fôrmas de EPS e posicionamento das barras.....	25
Figura 7 – Conferência de nível e prumo	26
Figura 8 – Execução do sistema ICF	26
Figura 9 - Fechamento das vigas horizontais	26
Figura 10 – Instalação elétrica embutida na fôrma.....	27
Figura 11 - Laje e caixaria com f.....	28
Figura 12 - Planta baixa térreo	30
Figura 13 - Planta baixa superior.....	30
Figura 14 – Emissão de CO2 por etapa quantificada	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Energia Embutida em materiais de construção brasileiros.....	33
Tabela 2 - Consumo primário de energia por fontes (% MJ) em materiais de construção	33
Tabela 3 - Geração de CO ₂ por fontes de energia.....	34
Tabela 4 - Consumo de material pelo sistema de alvenaria convencional de blocos cerâmicos	37
Tabela 5 – Consumo de material pelo sistema ICF.....	37
Tabela 6 - Emissão de CO ₂ por materiais	38
Tabela 7 - Consumo de materiais para 1 m ³ de concreto Fck 25Mpa	40
Tabela 8– Emissões de CO ₂ para 1 m ³ de concreto	40
Tabela 9 - Emissão de CO ₂ do aço.....	40
Tabela 10– Emissão de CO ₂ dos blocos cerâmicos	41
Tabela 11- Consumo de materiais para 1 m ³ de argamassa.....	41
Tabela 12- Emissões de CO ₂ geradas pela argamassa de assentamento.....	41
Tabela 13– Emissões de CO ₂ geradas pelo concreto na etapa de vedação.....	43
Tabela 14 – Emissões totais de CO ₂ para os sistemas analisados.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	JUSTIFICATIVA	12
3	OBJETIVOS	13
3.1	OBJETIVO GERAL	13
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4	REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1	IMPACTOS AMBIENTAIS E A CONSTRUÇÃO CIVIL	14
4.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	16
4.2.1	Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE)	18
4.3	SISTEMAS CONSTRUTIVOS	19
4.3.1	Sistema Convencional de Alvenaria de Vedação com Blocos Cerâmicos	20
4.3.1.1	Etapas construtivas do sistema convencional de alvenaria com blocos cerâmicos ..	20
4.3.1.1.1	Fundação	20
4.3.1.1.2	Estrutura	21
4.3.1.1.3	Alvenaria	22
4.3.2	Sistema de vedação com ICF	23
4.3.2.1	Etapas construtivas do sistema ICF	24
4.3.2.1.1	Fundação	24
4.3.2.1.2	Estrutura	25
4.3.2.1.3	Instalações e revestimentos	27
4.3.2.1.4	Lajes e cobertura	27
5	METODOLOGIA	29
5.1	ESCOLHA DA UNIDADE RESIDENCIAL UNIFAMILIAR	29
5.2	COLETA DOS PROJETOS	31
5.3	LEVANTAMENTO DAS ETAPAS QUE SERÃO QUANTIFICADAS	31
5.4	QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAIS VIA SOFTWARE AUTOCAD	32
5.5	ELABORAÇÃO DE PLANILHAS	32
5.6	USO DO MÉTODO DE ACVE PARA QUANTIFICAÇÃO E COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	32
6	RESULTADOS	37
6.1	LEVANTAMENTO DE MATERIAIS CONSUMIDOS	37
6.2	EMIÇÃO DE CO ₂ POR MATERIAL	38

6.3	EMISSÃO DE CO2 POR ETAPA CONSTRUTIVA DO SISTEMA DE ALVENARIA CONVENCIONAL DE BLOCOS CERÂMICOS	39
6.3.1	Emissão de CO2 na Etapa de Superestrutura	40
6.3.2	Emissão de CO2 na Etapa de Vedação.....	40
6.4	EMISSÃO DE CO2 POR ETAPA CONSTRUTIVA DO SISTEMA ICF.....	42
6.4.1	Emissão de CO2 na Etapa de Superestrutura	42
6.4.2	Emissão de CO2 na Etapa de Vedação.....	42
6.5	COMPARATIVO DAS EMISSÕES GERADAS PELOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	43
7	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A busca pela sustentabilidade e redução dos impactos ambientais se tornou uma preocupação mundial, e um grande desafio quando se trata do setor de construção civil. Isso porque suas atividades envolvem inúmeros processos de extração de recursos naturais, alto consumo de energia, além de gerar grande quantidade de resíduos e entulhos, proveniente de seus processos, o que contribui para a degradação do meio ambiente.

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), as atividades de construção e manutenção da infraestrutura do Brasil são responsáveis por consumir cerca de até 75% dos recursos naturais extraídos (CBCS, 2007). Os impactos ambientais resultantes desse grande consumo de matérias primas são ainda piores devido ao fato de que muitos desses recursos utilizados não são renováveis. Além disso, a indústria de ferro-gusa e aço, cimento e química, materiais amplamente utilizados na construção civil, são responsáveis por uma parcela significativa de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). No ano de 2016, essas indústrias juntas foram responsáveis por 59% das emissões (SEEG, 2018).

As emissões de gases provenientes dos processos produtivos do cimento ocorrem na produção da sua principal matéria-prima: o clínquer. O processo envolve a queima de combustíveis e o consumo de energia para movimentação da massa, direcionando-a aos fornos até completar seu processo produtivo. Por fim, as emissões associadas à produção do cimento, resultam em 60% de gases emitidos na produção do clínquer e 40% na queima de combustíveis (SEEG, 2018).

Da mesma forma que o setor da construção se apresenta como um dos grandes responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento urbano do país, sua cadeia produtiva contribui de forma significativa para emissão de gases do efeito estufa, sobretudo de dióxido de carbono (CO₂), liberado durante os processos de queima de combustíveis fósseis e descarbonatação de calcário e de compostos orgânicos voláteis (CBCS, 2007).

Diante desse cenário, o conceito de sustentabilidade se torna cada vez mais importante. Segundo o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBS), desenvolver-se de forma sustentável está ligado a possibilidade de alcançar o crescimento socioeconômico e cultural através do uso racional dos recursos naturais, de forma que não comprometa as necessidades das gerações futuras (CEBS, 2018).

Conforme a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) “construir com sustentabilidade requer fortalecimento da capacidade de inovação” (CBIC, 2017, p.40).

Nesse sentido, incorporar novas tecnologias construtivas que resultem em maior produtividade e menor emissão de gases poluentes se torna imprescindível.

A sustentabilidade deve estar presente mesmo nas etapas que antecedem a construção, desde a escolha dos materiais que serão utilizados, deve-se levar em consideração aqueles que sejam menos agressivos, duráveis e que provoquem o mínimo de impacto possível na sua obtenção (SEBRAE, 2019).

Diante dessa necessidade de avaliar o desempenho dos materiais empregados nos processos construtivos e suas etapas de produção, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) apresenta-se como uma excelente técnica capaz de mensurar quantitativamente os impactos ambientais provenientes das etapas de fabricação e utilização de determinados materiais.

Além disso, a ACV, segundo Tavares (2006), analisa variáveis como energia, fonte utilizada, uso de recursos renováveis e emissões para o solo, água e ar. A Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE), por outro lado, é uma metodologia baseada na ACV, mas apresenta-se de forma mais simplificada, através da qual pode-se analisar, por exemplo, a emissão de gases do efeito estufa.

Na ACVE para a quantificação das emissões de dióxido de carbono (CO₂) são determinadas a energia embutida e o consumo primário de energia dos produtos e processos envolvidos nas etapas construtivas. Dessa forma, é possível identificar o desempenho ambiental associado às construções e adotar o sistema que cause menor impacto ambiental.

Este estudo, portanto, propõe uma avaliação quantitativa da emissão de dióxido de carbono (CO₂), através de uma análise comparativa dos impactos ambientais gerados pela utilização de tijolo cerâmico e painéis de Poliestireno Expandido (EPS), como sistemas de vedação, aplicados a uma unidade residencial unifamiliar, de dois pavimentos, com área total de 512,15 m², localizada na cidade de Balsas – MA.

2 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil é um dos setores que mais contribui para emissão de gases causadores do efeito estufa, tais como dióxido de carbono (CO₂), responsável pelo problema do aquecimento global. De acordo, com o Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente (PNUMA), as emissões de CO₂ relacionadas à energia quando somadas às atividades da indústria da construção chegam a 38% das emissões totais (UNEP, 2020).

Dessa forma, visando a redução dos impactos ambientais gerados pela cadeia produtiva dos materiais de construção, a indústria da construção civil tem buscado implementar no setor novas tecnologias que apresentem melhor desempenho ambiental e maior produtividade.

De acordo com Vechiato (2017):

É através da inovação que se introduz efetivamente um novo produto, processo ou se aperfeiçoam os já existentes. Portanto, a busca por novas tecnologias no mercado da construção civil tem como intuito o alcance da sustentabilidade atrelada ao aumento da produtividade e diminuição da mão de obra, ou seja, desenvolvimento de novos materiais com baixo impacto ambiental no canteiro de obras. (VECHIATO, 2017, p. 11).

Nesse contexto, é importante que sejam desenvolvidos estudos sobre os diferentes sistemas construtivos e como eles têm contribuído para emissão de gases poluentes, como dióxido de carbono (CO₂), de forma a avaliar as melhores alternativas do ponto de vista ambiental.

Sendo assim, diante do surgimento de novas tecnologias construtivas, observou-se em um projeto desenvolvido na cidade de Balsas-MA, que inicialmente seria utilizada a técnica convencional de alvenaria de blocos cerâmicos, mas posteriormente optou-se pela utilização do sistema construtivo *Insulated Concrete Forms* (ICF), por ser um material que exige menor tempo de execução e mão de obra, além de apresentar maior eficiência térmica e acústica.

Dessa forma, observou-se a possibilidade de analisar em termos de emissão de CO₂ essas duas técnicas construtivas. Portanto, este trabalho buscou avaliar os dois sistemas construtivos, a fim de identificar qual deles causaria menos impactos ambientais, no que se refere às emissões de CO₂.

3 OBJETIVOS

A seguir serão descritos os objetivos geral e específicos deste trabalho.

3.1 OBJETIVO GERAL

Comparar as emissões de CO₂ entre o sistema construtivo convencional que utiliza alvenaria de blocos cerâmicos e o sistema ICF na construção de uma unidade residencial unifamiliar, localizada na cidade de Balsas- MA.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar as emissões de CO₂ geradas pelo sistema convencional de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos, utilizando o método de Avaliação do ciclo de Vida Energético (ACVE) dos materiais;
- Realizar uma análise quantitativa das emissões de CO₂ geradas pelo sistema construtivo ICF, através da ACVE;
- Calcular as emissões de CO₂ associadas aos tipos de materiais utilizados na execução da obra;
- Avaliar qual sistema construtivo entre os dois comparados seria mais benéfico do ponto de vista ambiental.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será abordada a fundamentação teórica desenvolvida através de pesquisas bibliográficas sobre o tema deste trabalho. Serão tratados os impactos ambientais resultantes da construção de edificações, a metodologia utilizada para a realização de estudos sobre o tema em questão e os sistemas construtivos usados para a comparação dos impactos referentes as emissões de dióxido de carbono.

4.1 IMPACTOS AMBIENTAIS E A CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil constitui um dos grandes responsáveis pelo desenvolvimento econômico e social do país, além de contribuir com cerca de 15% do Produto Interno Bruto - PIB (CBCS, 2007). O setor é também responsável por uma vasta geração de emprego.

Em contrapartida, diversos impactos ambientais negativos são atribuídos às suas atividades, principalmente devido ao alto consumo de recursos naturais e energia, bem como geração de resíduos e poluições atmosféricas. Para se ter uma ideia, o setor de edificações é responsável pela utilização de mais da metade dos recursos naturais extraídos do planeta (CBCS, 2014).

Além disso, de acordo com o CBCS (2014), no Brasil, o setor é responsável por consumir 48,5% da energia elétrica, sendo que a maioria das emissões de dióxido de carbono são oriundas dessa geração de energia.

O CBCS ainda afirma que esse alto consumo de energia ocorre principalmente nas etapas de:

1. extração, fabricação, produção e transporte de materiais de construção;
2. construção, energia no canteiro de obras;
3. operação de edificações e o ambiente urbano; e
4. demolição e fim de vida (CBCS, 2014, p.47).

Quanto à geração de resíduos sólidos, são geradas pelo setor da construção cerca de 80 milhões de toneladas por ano (CBCS, 2007). Esses resíduos provenientes de atividade de construções, demolições e reformas, e que muitas vezes não recebem a destinação correta ou não são recicláveis, provocando a degradação do meio ambiente e esgotamento de seus recursos.

No que se refere às poluições atmosféricas, um dos principais impactos está relacionado à liberação de gases do efeito estufa, especialmente dióxido de carbono. De acordo com o Instituto Clima e Sociedade (ICS), as emissões de Gases de Efeito-Estufa (GEE) do Brasil chegaram a 2,2 giga toneladas em 2016. Além disso, nos processos industriais os segmentos que mais contribuem para esse cenário são a produção de aço e de cimento (ICS, 2017).

Segundo estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, feitas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) do Governo Federal, o setor siderúrgico foi responsável por 48,2% das emissões de CO₂ referentes aos processos industriais, e o cimento por 29,4 %, no ano de 2020 (MCTIC, 2020), sendo estes alguns dos principais materiais utilizados na construção civil.

Dados do MCTI de 2010 mostram que a produção de ferro-gusa e aço é o principal gerador de CO₂, seguido pela produção de cimento e cal (Figura 1).

Figura 1 - Contribuição para as emissões do setor de processos industriais em 2010.

Produção de Ferro-Gusa e Aço	46,1%
Produção de Cimento	26,9%
Produção de Cal	7,3%
Uso de HFCs	6,7%
Indústria Química	4,6%
Produção de Alumínio	4,1%
Outros Usos do Calcário e da Dolomita	3,6%
Uso da Barrilha	0,6%
Uso de SF ₆	0,2%

Fonte: MCTI (BRASIL, 2013).

Nesse sentido, diante dos diversos impactos ambientais resultantes da cadeia produtiva da indústria civil, deve-se buscar novas tecnologias de produção, ou substituição de materiais que sejam menos agressivos ao meio ambiente, visando reduzir a emissão de gases do efeito estufa, responsáveis pelo aumento do aquecimento global.

No intuito de avaliar os impactos produzidos pelos processos construtivos, foi desenvolvida uma ferramenta capaz de analisar o ciclo de vida de uma edificação ou dos produtos utilizados na sua construção. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009 p. 2), é a "compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida."

A ACV pode ainda ser utilizada para a realização de comparativos entre os impactos de diferentes produtos, em termos de emissão de dióxido de carbono, o que possibilita a escolha pelo sistema construtivo menos agressivo ao meio ambiente.

4.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) trata-se de uma técnica a partir da qual é possível mensurar os impactos causados ao meio ambiente, pelo ciclo de vida dos materiais em todas as suas etapas, desde a extração de matéria prima, produção, distribuição, até o consumo e disposição final do produto. Podendo incluir também etapas de reciclagem e reuso, quando for possível. Por se tratar de uma metodologia quantitativa, a quantificação numérica de emissões permite comparações entre as etapas do ciclo de vida dos produtos. Além disso, segundo a NBR ISO 14040, a ACV pode ajudar a promover melhorias no aspecto ambiental dos produtos (ABNT, 2009).

De acordo com Tavares (2006), outras aplicações da ACV são: a análise de problemas relacionados à algum produto, orientação para criação de novos produtos, determinação da energia embutida dos materiais e avaliação do desempenho ambiental dos produtos.

Quanto à estrutura metodológica de uma ACV, a norma define quatro fases: definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação (Figura 2).

Os objetivos de uma ACV devem deixar claro o que se pretende com o estudo realizado e onde será aplicado, suas justificativas e o público a quem se dirige o estudo (ABNT, 2009). Já o escopo define o sistema do produto, suas funções, unidade funcional, fronteiras e limitações, além dos tipos de impactos e como serão avaliados, procedimentos de alocação, tipo e formato do relatório de estudo.

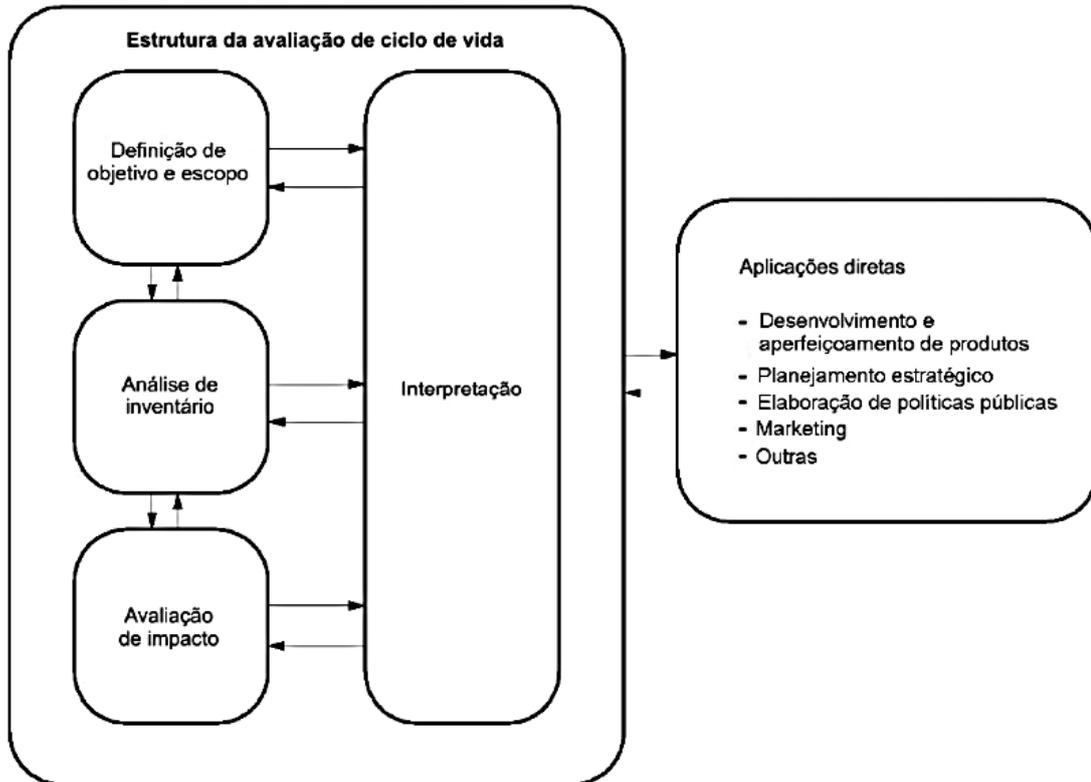
Na fase de análise do inventário, de forma geral, é feito a coleta de dados e quantificação das entradas e saídas do sistema, isso inclui recursos utilizados e emissões geradas a partir do ciclo de vida dos materiais. A elaboração de um inventário deve contar com a participação de entidades governamentais e não governamentais (SOUSA, 2013).

Na fase de avaliação de impactos são desenvolvidas análises dos riscos e impactos ambientais, com base nos resultados obtidos no inventário. Nessa fase, os impactos são classificados, ponderados e caracterizados por categorias.

E, por fim, na fase de interpretação busca-se responder às questões levantadas no escopo. Além disso, todas as fases são combinadas e a partir disso são feitas conclusões e

recomendações finais, visando a melhoria do desempenho ambiental. Segundo Tavares (2006), as ACVs que visam comparar produtos devem avaliá-los utilizando o mesmo critério, para que se obtenha resultados mais confiáveis.

Figura 2 - Fases de uma ACV.



Fonte: ABNT (2009).

Na tentativa de analisar as emissões de CO₂ resultantes da construção de algumas edificações no Brasil, vários estudos foram desenvolvidos, com o intuito de mensurar os impactos ambientais gerados por essas construções. Pode-se destacar, por exemplo, a pesquisa realizada por Tavares (2006), sob o qual se baseia a metodologia deste trabalho.

Tavares (2006) buscou quantificar o consumo energético de edificações residenciais brasileiras ao longo do seu ciclo de vida, a fim de quantificar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) geradas no seu processo construtivo. Seu trabalho muito contribuiu para que outros estudos fossem feitos, comparando sistemas construtivos e avaliando alternativas mais viáveis.

Baseado no trabalho de Tavares (2006), Schuster *et al.* (2019) compararam as emissões de CO₂ de dois sistemas construtivos: cerâmica vermelha e bloco solo-cimento, para a execução de uma residência rural, no qual notou uma redução de 64,95% na emissão de CO₂ pela utilização dos blocos de solo-cimento.

Cunha (2016) quantificou a geração de CO₂, através da energia embutida dos materiais utilizados na construção de vinte unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais, podendo avaliar a alternativa mais vantajosa do ponto de vista ambiental. Ao comparar as emissões geradas pelos blocos cerâmicos, blocos de solo-cimento e blocos de concreto, a utilização do bloco de solo-cimento se apresentou como mais vantajosa, gerando menores índices de emissões.

Marcos (2009) analisou as emissões de CO₂ durante a fase pré-operacional de uma edificação, considerando o emprego de alvenaria e madeira de reflorestamento. Seu estudo foi desenvolvido através do uso de uma ferramenta CAD-BIM e geração de CO₂ associada ao consumo de energia. O emprego da alvenaria resultou em três vezes mais emissões quando comparado ao uso da madeira, sendo, portanto, o uso da madeira considerada menos poluente.

Nesse sentido, estudos como esses têm buscado avaliar as emissões de CO₂ baseando-se na energia incorporada aos materiais utilizados, por meio de avaliação do tipo ACVE, contribuindo, dessa forma, para o aprofundamento de novas pesquisas e busca por alternativas construtivas que gerem menor quantidade possível de gases responsáveis pelo efeito estufa.

4.2.1 Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE)

A ACVE trata-se de uma forma simplificada da ACV, pois demanda menos custos e tempo na sua execução (TAVARES, 2006). Através desta metodologia pode-se quantificar os impactos associados às emissões de gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂).

No processo de ACVE pode-se analisar o consumo energético referente ao ciclo de vida dos equipamentos e materiais desde a extração de matéria prima até sua disposição final.

A maioria das atividades realizadas na cadeia produtiva da indústria da construção consomem algum tipo de energia durante sua execução. Segundo Pedroso (2015):

No entendimento das atividades envolvidas na cadeia desta indústria, torna-se de fácil compreensão que as atividades de transformação, manuseio e deslocamento das matérias primas de seus locais de origem até os postos de manufatura, dependem algum tipo de energia (PEDROSO, 2015, p. 43).

A metodologia ACVE envolve a Energia Embutida Inicial dos produtos utilizados na construção de uma edificação. Essa energia está associada aos insumos diretos e indiretos usados no processo construtivo. Os insumos diretos são aqueles relacionados à obtenção dos materiais de construção, enquanto os indiretos incluem a extração e transporte de matéria

prima, além do transporte dos materiais prontos para o canteiro de obras e a energia liberada na obra (TAVARES, 2006).

Ainda de acordo com Tavares (2006), o procedimento de uma ACVE envolve três principais fases: pré-operacional, operacional e pós operacional. A fase pré-operacional se caracteriza pela energia gasta no levantamento da edificação e consumo dos materiais de construção.

A fase operacional está relacionada à energia consumida pela presença dos habitantes como a energia consumida por equipamentos eletrodomésticos e cocção de alimentos. E a fase pós operacional envolve a energia consumida nas operações de desmontagem e remoção de entulho da edificação.

Assim, a ACVE se torna uma importante ferramenta utilizada na quantificação da energia gasta e das emissões de CO₂ geradas no processo de construção de uma habitação. A partir dos resultados obtidos pela ACVE pode-se comparar duas edificações ou dois sistemas construtivos diferentes (CALDAS, 2016).

4.3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A indústria da construção civil, visando a diminuição dos impactos ambientais, está sempre em busca de novas alternativas construtivas que sejam mais sustentáveis e menos agressivas do ponto de vista ambiental. Por isso, faz-se necessário que sejam estudadas e avaliadas a aplicabilidade desses novos sistemas construtivos.

Um sistema construtivo trata-se de um conjunto de subsistemas que se relacionam para a formação de uma estrutura (GUIMARÃES, 2014). De acordo com Weidle (1995), pela classificação tradicional tem-se os seguintes subsistemas:

- a) serviços preliminares;
- b) fundações;
- c) estrutura;
- d) cobertura;
- e) instalações;
- f) vedações;
- g) esquadrias;
- h) revestimentos;
- i) piso e pavimentações, e

j) trabalhos complementares.

No próximo item serão abordados os sistemas construtivos usados para a comparação de desempenho ambiental, no que se refere às emissões de CO₂ liberadas nos processos construtivos e os impactos causados na construção da edificação.

4.3.1 Sistema Convencional de Alvenaria de Vedação com Blocos Cerâmicos

O sistema construtivo executado com estruturas de concreto armado e fechamento em alvenaria de vedação em blocos cerâmicos é um dos mais difundidos na cultura brasileira, por isso é considerado o método construtivo convencional (SANTOS, 2020).

A alvenaria convencional trata-se de um sistema que utiliza vigas e pilares para sua estruturação (PENTEADO; MARINHO, 2011). Nesse sistema as paredes não possuem nenhuma função estrutural e servem apenas como fechamento e para separação de ambientes internos (SANTOS, 2020).

4.3.1.1 Etapas construtivas do sistema convencional de alvenaria com blocos cerâmicos

A seguir serão descritas as etapas do processo construtivo do sistema construtivo de alvenaria cerâmica.

4.3.1.1.1 Fundação

As fundações são parte da edificação e têm por finalidade transmitir as cargas das superestruturas ao solo, além disso o projeto e a execução das fundações dependem do comportamento do solo (FALCONI *et al.*, 2019).

Dessa forma, para o bom funcionamento das fundações é necessário que seja feito um estudo do solo, já que é ele que absorve toda a carga proveniente da estrutura (SOUSA *et al.*, 2018). Além disso, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), para fins de projeto e execução de fundações deve-se realizar investigações de campo e em laboratório do terreno onde será executada a fundação.

O tipo de fundação utilizada depende de fatores como a propriedades do solo e condições de execução. A partir da análise desses fatores é determinado o tipo mais adequado

de fundação, optando por aquela que possua maior viabilidade técnica e econômica (SILVA, 2016).

4.3.1.1.2 Estrutura

A estrutura de um edifício consiste nos elementos estruturais projetados para resistir às diversas ações e assegurar o equilíbrio da edificação, sendo que a estrutura convencional é composta por lajes, pilares e vigas (PASLAUSKI, 2019).

Os pilares são elementos responsáveis por receber as cargas das vigas ou diretamente das lajes e transmitir a solicitação para a fundação. Sua execução se inicia após finalização da fundação, onde os pilares são locados conforme eixo referenciado no projeto (TRAZZI; GIANDON, 2016).

Com as armaduras montadas, conforme projeto estrutural em concreto armado, faz-se a amarração destas nas esperas deixadas na fundação. E em seguida, são colocadas fôrmas de madeira ao redor das armaduras do pilar, geralmente essas fôrmas são de madeira compensada comumente utilizada na construção civil devido ao seu baixo custo quando comparado a outros materiais (TRAZZI; GIANDON, 2016). Por fim, é feita a concretagem dos pilares.

As vigas são elementos que servem de apoio para lajes e paredes, transmitindo as cargas que recebem até os pilares. As vigas podem receber também as cargas de pilares, no caso de vigas de fundação (PINHEIRO; MUZZARDO; SANTOS, 2003).

Em geral o processo de execução das vigas em concreto armado é semelhante ao dos pilares, devem ser posicionadas conforme proposto no projeto estrutural, coloca-se fôrmas de madeira em volta das armaduras e então são concretadas.

As lajes são elementos destinados a receber as cargas que atuam na estrutura e transmiti-las aos apoios, sendo vigas ou pilares (MESQUITA FILHO, 2004). As lajes recebem a maior parte das cargas de uma construção, seja de pessoas, móveis, piso, parede e demais cargas que possam existir (BASTOS, 2015).

As lajes podem servir tanto como cobertura como de piso para uma edificação. São comuns a utilização de lajes preenchidas com EPS, esse tipo de laje tem vantagens relacionadas à redução do peso próprio e da utilização de concreto (SILVA, 2002).

Para a execução das lajes, o primeiro passo é realizar o escoramento da estrutura. Em seguida, o EPS deve ser posicionado de acordo com o projeto estrutural, garantindo também

sua correta fixação, de forma que este não se desprenda ou se movimente no momento da concretagem (DORNELES, 2014).

Após as lajes serem preenchidas com EPS aplica-se uma capa de concreto que permite o nivelamento das lajes (BEZERRA; NUNES, 2020). Além do nivelamento deve-se também utilizar vibradores mecânicos durante o processo de concretagem a fim de promover a correta homogeneidade e evitar vazios (DORNELES, 2014).

4.3.1.1.3 Alvenaria

De acordo com Azevedo (1997), alvenaria é toda obra construída com a utilização de pedras naturais, tijolos ou blocos de concreto que visa oferecer resistência, durabilidade e impermeabilidade. As alvenarias constituem parte da estrutura de um edifício e podem ser classificadas como alvenaria de vedação e alvenaria estrutural (PASLAUSKI, 2019).

Segundo Oliveira (2018, p.17), “a alvenaria é um dos mais antigos sistemas utilizados existentes na construção de edificações”. Para a execução da alvenaria um material bastante utilizado são os tijolos feitos a partir da argila.

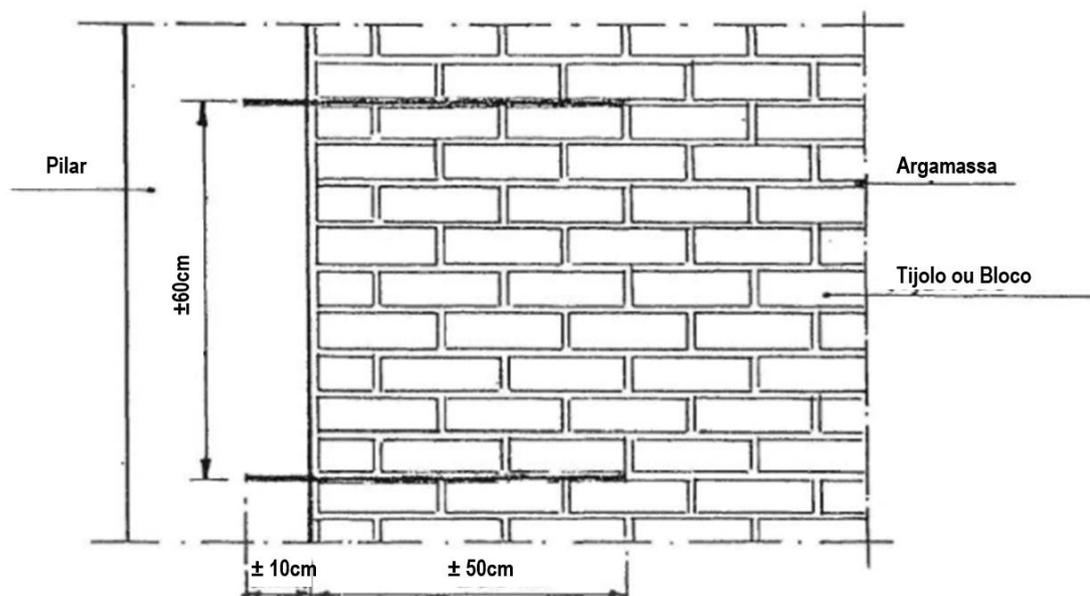
Esse tipo de tijolo é moldado quando a argila é extraída, laminada em granulometrias menores, misturada com certa quantidade de água e moldada em máquinas, em seguida, os tijolos são cortados nas dimensões desejadas, postos para secar e cozidos em fornos (SILVA, 2009).

No que se refere à alvenaria de vedação, pode-se dizer que os principais materiais utilizados nesse sistema construtivo são a argamassa de assentamento e os blocos. Contudo, diante dos avanços do setor de construção, esses materiais assumem características e tipos diversos (SANTOS, 2013).

No caso do sistema de alvenarias com blocos de vedação, as paredes não possuem função estrutural (ABNT, 2017), não sendo projetadas para resistir às cargas, além do seu próprio peso. A função estrutural desse sistema é feita pelos pilares e vigas, constituídos geralmente de concreto armado (BASTOS JÚNIOR, 2018), nos quais o aço resiste aos esforços de tração enquanto o concreto resiste à compressão (RIZZO; PIMENTEL, 2014).

De acordo com a NBR 8545 (ABNT, 1984), que trata da execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos, a ligação entre os pilares e a alvenaria deve ser feita com barras de aço com diâmetro de 5 a 10 mm, distanciadas cerca de 60cm, engastados no pilar e na alvenaria (Figura 3).

Figura 3 - Ligação entre alvenaria e pilar de concreto armado.



Fonte: ABNT (1984).

4.3.2 Sistema de vedação com ICF

O sistema de vedação com ICF trata-se de um sistema formado por placas de poliestireno expandido (EPS), conhecido popularmente como isopor, reforçado com aço e preenchido com concreto. Além disso, são montadas por encaixe tipo macho e fêmea.

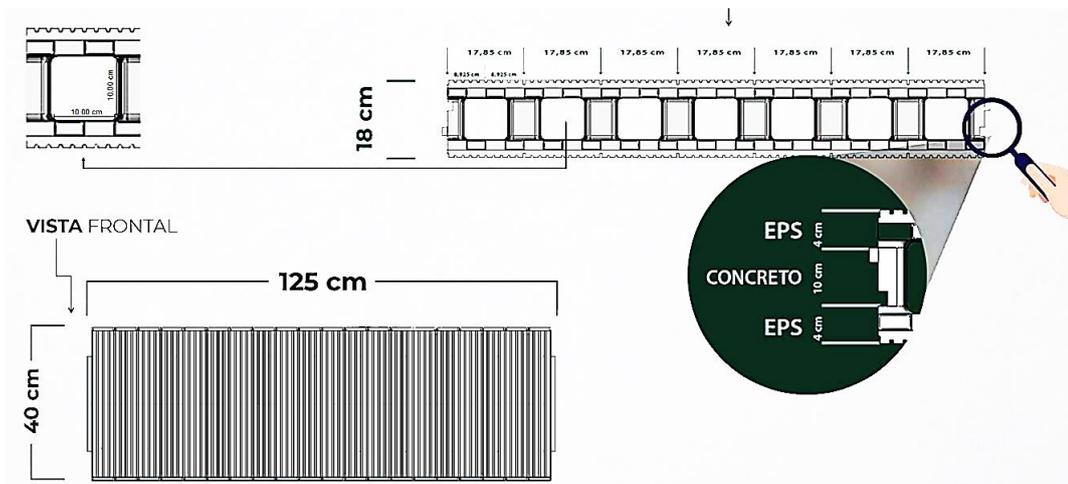
No que se refere ao EPS, este se apresenta como um material que não utiliza gás CFC em seu processo produtivo, em sua transformação utiliza como agente expensor o pentano, que por ser um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, não compromete o meio ambiente (ABRAPEX, 2006).

Quanto à sua fabricação, o EPS é resultado da polimerização do estireno em água, que resultam em pérolas de até 3 milímetros de diâmetro. Essas pérolas são submetidas a um processo de expansão aumentando seu tamanho original em até 50 vezes, em seguida por meio do vapor são moldadas em diversas formas. Depois de expandidas essas pérolas apresentam em seu volume até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. (ABRAPEX, 2006).

Além disso, os EPS finais fabricados são inodoros e não contaminam o solo, água ou ar, sendo ainda um material reaproveitável e reciclável (ABRAPEX, 2006). O EPS se apresenta como um dos principais materiais utilizados na etapa de vedação do sistema ICF.

Na Figura 4 é ilustrado um bloco estrutural de ICF composto por duas placas de EPS, de dimensões iguais a 18x40x125 cm e preenchido com concreto. A espessura do concreto para preenchimento é de 10 centímetros.

Figura 4 - Fôrma iforms 18 estrutural.



Fonte: ICF Construtora Inteligente (2021).

4.3.2.1 Etapas construtivas do sistema ICF

A seguir serão descritas as etapas do processo construtivo do sistema ICF, na qual se utiliza fôrmas de poliestireno expandido.

4.3.2.1.1 Fundação

O sistema ICF admite diversos tipos de fundação que, segundo o Manual Técnico da ICF CONSTRUTORA (2021), dependerá do cálculo estrutural e da distância entre as barras de aço. Porém, optar por uma fundação do tipo radier ou sapata corrida pode facilitar a marcação das paredes e futura colocação das fôrmas de EPS, conforme demonstra a Figura 5.

Figura 5 – a) Execução de radier; b) Marcação das paredes



a)

b)

Fonte: a) Autora; b) Autora.

4.3.2.1.2 Estrutura

Após a fundação é feita a ancoragem das fôrmas de EPS, no qual são posicionadas barras de aço CA60 intercalados a cada 30cm, que servem como arranques. A bitola a ser utilizada deve ser determinada pelo projeto estrutural.

Em seguida, são montadas as paredes de ICF que, de acordo com o Manual Técnico da ICF CONSTRUTORA (2021), deve-se começar preferencialmente pelos cantos. As placas de EPS são encaixadas umas nas outras e devem estar alinhadas, para que em seguida se concrete a primeira fiada da parede. A Figura 6 demonstra os arranques já posicionados e a primeira fiada da parede montada.

Figura 6 – Ancoragem das fôrmas de EPS e posicionamento das barras



Fonte: Autora.

Antes da concretagem das fôrmas deve-se realizar o travamento da primeira fiada, para que, durante o levantamento das paredes, estas se mantenham alinhadas. Para isso, utiliza-se argamassa ou concreto. Para início da concretagem é importante proteger os dentes de encaixe da fôrma, utilizando cano PVC cortado ao meio, para que o processo de montagem das fôrmas não seja prejudicado posteriormente (Manual Técnico, ICF Construtora, 2021).

As seções verticais da parede que são preenchidas com concreto agem como pilares, sendo que a fôrma estrutural de dimensões 18x40x125 cm configura um pilar de 10x10 cm. Já a fôrma de 12x40x125 cm configura um pilar de 07x06 cm.

As seções horizontais formadas pelos painéis de EPS, por sua vez, agem como vigas de 14x10 cm para as formas de 18x40x125, e vigas de 14x06 cm para as fôrmas de 12x40x125.

Em seguida confere-se o prumo, nível e esquadro das paredes de EPS, para garantir o alinhamento delas, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Conferência de nível e prumo



Fonte: Autora.

Dessa forma, após concluir a primeira fiada de parede, as demais são colocadas seguindo o mesmo processo (Figura 8).

Figura 8 – Execução do sistema ICF



Fonte: Autora.

As aberturas das esquadrias são feitas através de um recorte nas fôrmas. O material restante pode ser futuramente aproveitado no fechamento das vigas horizontais (Figura 9).

Figura 9 - Fechamento das vigas horizontais



Fonte: ICF Construtora (2021).

4.3.2.1.3 Instalações e revestimentos

As instalações elétricas e hidráulicas são posicionadas na face das fôrmas de EPS, na qual são feitas pequenas aberturas, conforme mostra a Figura 10. Os cortes são feitos de forma fácil depois de concretadas as fôrmas.

Para tubulações de diâmetro maior que 100 mm devem ser colocadas externas às fôrmas, em shaft's, conforme determinado em projeto (SANTOS, 2020). Com todas as instalações prontas, passa-se para a etapa de revestimento. Nessa etapa o chapisco é executado com argamassa de cimento colante e resina polimérica.

Figura 10 – Instalação elétrica embutida na fôrma



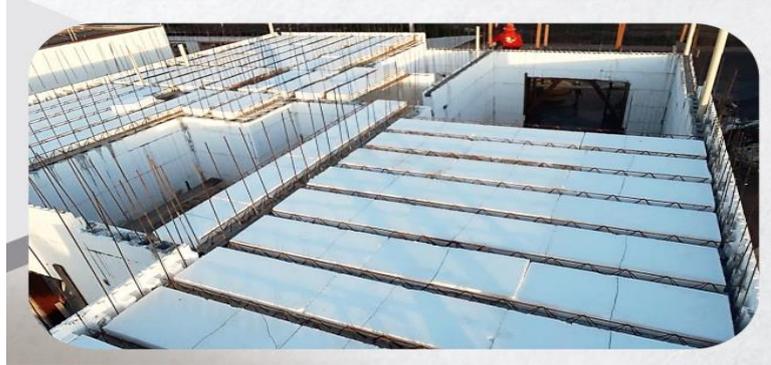
Fonte: Jesus e Barreto (2018).

4.3.2.1.4 Lajes e cobertura

A próxima etapa desse sistema são as lajes e cobertura, que podem ser feitas utilizando o mesmo método convencional para alvenaria cerâmica. No caso das lajes, existe a opção de utilizar as formas ICF como caixaria, o que pode ser um diferencial, já que resulta na economia de madeira. A Figura 11 mostra lajes feitas com fôrmas ICF, na qual são utilizadas também como caixaria.

Em relação à cobertura não há limitação quanto ao tipo de telhado a ser utilizado, pois as paredes exercem função estrutural suportando a carga da cobertura (ICF CONSTRUTORA, 2021).

Figura 11 - Laje e caixaria com fôrmas ICF



Fonte: ICF Construtora (2021).

5 METODOLOGIA

Definir o tipo de pesquisa utilizada como parâmetro para a realização de um trabalho é de grande importância para o entendimento acerca dos elementos que o compõem. Uma pesquisa pode ser classificada quanto à sua natureza, quanto aos seus objetivos e quanto à sua abordagem.

O método de pesquisa adotado para este estudo, no que se refere à natureza da pesquisa, utilizou a pesquisa aplicada, visando gerar conhecimento para aplicação prática (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). E, quanto aos objetivos, adotou-se o tipo de pesquisa exploratória que, segundo Gil (2008), pode envolver levantamento bibliográfico e documental e estudo de caso.

Este trabalho trata-se de um estudo de caso “caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos” (GIL, 2008, p. 57). O estudo de caso é responsável por analisar determinado fenômeno e suas variáveis, no contexto em que se insere.

No que diz respeito a abordagem do problema, o método de pesquisa pode ser considerado quantitativo, pois utiliza a quantificação tanto na coleta de informações, quanto no tratamento delas (RICHARDSON, 2012), para mensurar as emissões de CO₂ geradas durante a construção de uma unidade residencial unifamiliar.

Para a quantificação de CO₂ foi utilizado o método de ACVE adotado por Tavares (2006), na qual se buscou analisar as emissões de dióxido de carbono na fase pré-operacional, considerando o emprego de dois sistemas diferentes.

Esta metodologia está dividida em seis passos separados em tópicos: escolha da unidade residencial unifamiliar, coleta dos projetos, levantamento das etapas que serão quantificadas, quantificação de materiais via software Autocad, elaboração de planilhas e uso do Método ACVE para comparação das emissões de CO₂.

5.1 ESCOLHA DA UNIDADE RESIDENCIAL UNIFAMILIAR

Inicialmente, fez-se a escolha da unidade habitacional na qual iria ser feito o estudo. A edificação escolhida está localizada na cidade de Balsas- MA, possui área total de 512,15 m² e é composta por dois pavimentos.

O pavimento térreo possui área igual a 371,84 m² e é composto por uma suíte, sala de TV, brinquedoteca, sala de estar, lavabo, escritório, cozinha, depósito, área de serviço,

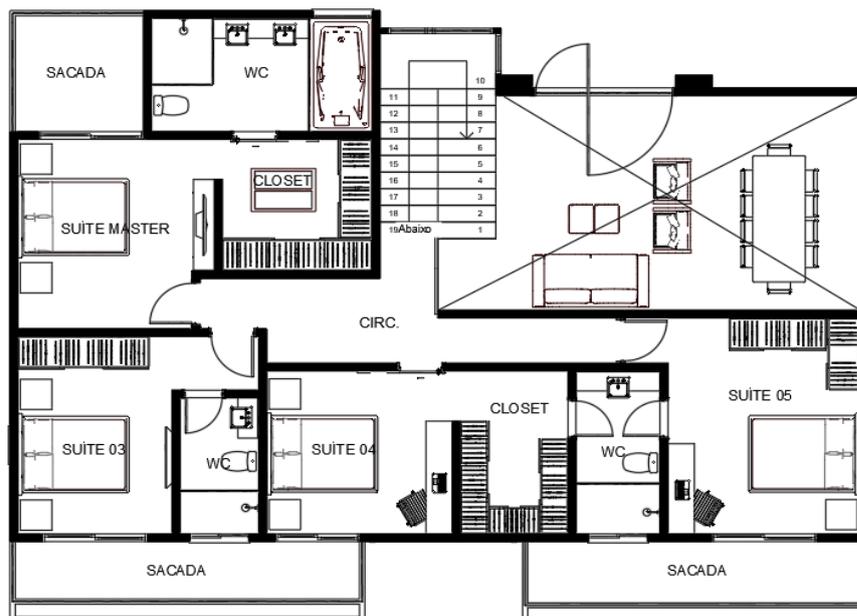
banheiro, garagem e varanda gourmet (Figura 12). O pavimento superior possui área de 140,31 m², e é composto por três suítes e uma suíte master (Figura 13).

Figura 12 - Planta baixa térreo



Fonte: Adaptado de Hanna Maia (2020).

Figura 13 - Planta baixa superior



Fonte: Adaptado de Hanna Maia (2020).

Considerou-se para a mesma obra o emprego de dois sistemas construtivos diferentes: o sistema convencional, que utiliza alvenaria de blocos cerâmicos, e o sistema *Insulated Concrete Forms* (ICF), que utiliza fôrmas de ICF.

O sistema com paredes de blocos cerâmicos foi projetado considerando a utilização de tijolos cerâmicos de 6 furos. Para o sistema ICF serão utilizadas Fôrmas de EPS com duas dimensões diferentes, sendo que uma tem função estrutural e a outra apenas de vedação. A fôrma estrutural possui dimensões de 18x40x125, enquanto a fôrma de vedação tem dimensões de 12x40x125.

Dessa forma, foram analisadas as emissões de CO₂ associados aos tipos de materiais de construção de cada sistema proposto, através da Avaliação do Ciclo de Vida Energético, com base em informações do método sugerido por Tavares (2006) para quantificar as emissões de dióxido de carbono.

5.2 COLETA DOS PROJETOS

Foram realizados projetos para ambos os sistemas construtivos. Todos os projetos foram fornecidos a autora pela empresa responsável pela execução da obra.

5.3 LEVANTAMENTO DAS ETAPAS QUE SERÃO QUANTIFICADAS

Para execução do projeto residencial, devem ser empregados as etapas e serviços apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Etapas e serviços executados na construção

1 - Limpeza do terreno	10 - Cobertura
2 - Ligações provisórias de água e luz	11 - Esquadrias
3 - Canteiro de obras	12 - Revestimentos
4 - Locação da obra	13 - Piso
5 - Movimentação de terra	14 - Instalações elétricas
6 - Fundações	15 - Instalações hidráulicas
7 - Paredes e vedações	16 - Instalações sanitárias
8 - Superestrutura (pilares e vigas)	17 - Forros
9 - Lajes	18 - Pinturas

Fonte: Autora.

No entanto, este estudo focou apenas na quantificação da emissão de CO₂ para as etapas e serviços divergentes entre os sistemas construtivos utilizados, nesse caso, as etapas de superestrutura e paredes, visando comparar quantitativamente qual sistema gera menos impactos ambientais, levando em consideração a liberação de dióxido de carbono na atmosfera.

5.4 QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAIS VIA SOFTWARE AUTOCAD

O processo de quantificações dos materiais que serão utilizados foi feito através dos projetos na extensão .DWG, com auxílio do software Autocad, no qual obteve-se o volume de concreto e aço necessários, além da área total das paredes, obtida considerando seu comprimento linear e o pé direito. Áreas com vão maiores, que excedem 2m², serão subtraídas, considerando apenas vãos inferiores.

Após o levantamento da área total das paredes, pôde-se calcular a quantidade de alvenarias e argamassa de assentamento necessários, sendo que para o caso do ICF a quantidade de fôrmas e insumos foi determinado pelo próprio fornecedor do material.

5.5 ELABORAÇÃO DE PLANILHAS

Finalizado o levantamento do quantitativo de materiais consumidos, os resultados foram organizados em planilhas eletrônicas para facilitar o entendimento.

5.6 USO DO MÉTODO DE ACVE PARA QUANTIFICAÇÃO E COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂

Cimento, areia, brita e o aço estão entre os materiais utilizados em maior quantidade nas etapas de superestrutura e vedação. Diante disso, buscou-se analisar principalmente a emissão de CO₂ geradas pelo sistema construtivo convencional de alvenaria de vedação com tijolos cerâmicos e o sistema ICF nas etapas de superestrutura e vedação.

Na quantificação das emissões de CO₂ foi utilizado o método de ACVE proposto por Tavares (2006), considerando apenas a fase pré-operacional caracterizada pela energia gasta

no levantamento da edificação e consumo dos materiais de construção, não sendo avaliada a energia gasta no transporte de materiais.

Para a quantificação das emissões de dióxido de carbono (CO₂) gerado pelos processos construtivos, foi necessário utilizar os valores de Energia Embutida (EE) associada aos materiais usados na construção, determinados por Tavares (2006), o consumo de energia das fontes primárias de cada material e a geração de CO₂ liberado por essas fontes de energia.

O conceito de Energia embutida, segundo Tavares (2006), está relacionado a energia total consumida por determinado produto ou serviço. Os valores de EE apresentados pelo autor foram obtidos por meio de análises energéticas nos principais materiais utilizados em construções residenciais brasileiras.

Através de levantamentos já realizados sobre o assunto, o autor buscou consolidar dados nacionais de Energia Embutida (EE), sendo que para dados indisponíveis, utilizou uma média de dados internacionais, relacionando os resultados em tabelas. Sendo assim, na Tabela 1 são apresentados os valores de EE dos materiais usados na construção.

Tabela 1 - Energia Embutida em materiais de construção brasileiros

Materiais	EE (MJ/m³)
Aço	235500
Areia	80
Brita	247,5
Cal virgem	4500
Cerâmica Vermelha	4060
Cimento Portland	8190
Concreto	2760
Poliestireno expandido	4480

Fonte: Adaptado de Tavares (2006).

A partir dos valores de EE, foi feito a “desagregação dos valores de consumo de energia em fontes primárias” (TAVARES, 2006, p. 109). Para isso, considera-se o consumo primário de energia por fontes dos materiais dado em percentual (Tabela 2).

Tabela 2 - Consumo primário de energia por fontes (% MJ) em materiais de construção

Fontes	Fósseis não renováveis							Renováveis				
	Óleo diesel e combustível	Gás natural	GLP	Coque de petróleo	Outras secundárias de petróleo	Carvão mineral	Coque de carvão mineral	Eletricidade	Carvão vegetal	Lenha	Outras fontes prim. Renováveis	Outras
Aço e ferro	1	6					71	10				12

Tabela 2 - Consumo primário de energia por fontes (% MJ) em materiais de construção

(continuação)

Fontes	Fósseis não renováveis							Renováveis				
	Óleo diesel e combustível	Gás natural	GLP	Coque de petróleo	Outras secundárias de petróleo	Carvão mineral	Coque de carvão mineral	Eletricidade	Carvão vegetal	Lenha	Outras fontes prim. Renováveis	Outras
Alumínio	21	7			4		10	54				4
Areia	99							1				
Argamassa	86			10				4				
Cal	12							8	80			
Cerâmica revest.	15	68	5					12				
Cerâmica verm.	4		8					2	85			1
Cimento	3			61		8		12	9			7
Cobre	10	44					5	41				
Concreto	82			9				9				
Fibrocimento	84		2					14				
Impermeabilizantes	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plásticos	10	30			34			26				
Tintas	90							10				
Outros materiais	8	11				7	10	20	9		35	

Fonte: Adaptado de Tavares (2006).

Após a determinação do consumo de energia, estabelece-se a quantidade de CO₂ liberada pelas fontes primárias, para geração de energia. A Tabela 3 mostra a geração de CO₂ por cada fonte de energia.

Tabela 3 - Geração de CO₂ por fontes de energia

Fonte	CO ₂ (Kg/MJ)
Eletricidade	0,0181
Óleo combustível	0,0798
Gás natural	0,0506
GLP	0,0633
Coque de carvão mineral	0,0915
Coque de petróleo	0,0726
Carvão mineral	0,0915
Carvão vegetal	0,051
Lenha	0,0816
Outras	0,0357

Fonte: Adaptado de Tavares (2006).

Dessa forma, torna-se possível calcular a quantidade de CO₂ liberada pelos sistemas construtivos empregados. Para tanto, calcula-se primeiro a quantidade de CO₂ liberada pelos materiais consumidos (Equação 1) e posteriormente quantifica-se o total de emissões por cada sistema (Equação 2). Dessa forma, pode-se comparar qual sistema construtivo utilizado é menos agressivo ao meio ambiente quanto aos gases liberados na atmosfera.

Para o cálculo das emissões por materiais usados, considera-se o consumo primário de energia, a geração de CO₂ e a energia embutida dos materiais, conforme é representado pela Equação 1:

$$CO_{2=} \sum CP_m * G_m * EE_m \quad (1)$$

Onde:

$CO_{2=}$ = Emissão de CO₂ por materiais (KgCO₂/m³)

CP_m = Consumo primário de materiais (%MJ)

G_m = Geração de CO₂ dos materiais (KgCO₂/MJ)

EE_m = Energia embutida dos materiais (MJ/m³)

Para o cálculo das emissões totais considera-se a emissão de CO₂ multiplicada pelo quantitativo de materiais (Equação 2):

$$TCO_{2=} \sum Qi * CO_2 \quad (2)$$

Onde:

$TCO_{2=}$ = Total de CO₂ liberado

Qi = Quantitativo de materiais

$CO_{2=}$ = Emissão de CO₂ por materiais

Ambas as equações acima foram utilizadas para quantificação de CO₂ liberados para as etapas de superestrutura e paredes. No caso do assentamento é considerado a área de alvenaria, o consumo e a emissão dos materiais (Equação 3):

$$RCO_2 = \sum Aa * C * CO_2 \quad (3)$$

Onde:

$RCO_2 = Total\ de\ emiss\o\es\ de\ CO_2$

$A_a = \acute{A}rea\ de\ alvenaria$

A partir das equações apresentadas foi possível determinar a quantidade de emissões de dióxido de carbono para a unidade residencial unifamiliar apresentada no estudo.

6 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos neste trabalho, para uma unidade residencial unifamiliar com área total das paredes igual a 915,20 m², na qual se utiliza dois sistemas de vedação distintos: alvenaria de bloco cerâmico e *Insulated Concrete Forms* – ICF.

6.1 LEVANTAMENTO DE MATERIAIS CONSUMIDOS

A Tabela 4 indica o quantitativo de materiais que seriam consumidos na execução da unidade residencial unifamiliar utilizando o sistema construtivo de alvenaria convencional de blocos cerâmicos.

Tabela 4 - Consumo de material pelo sistema de alvenaria convencional de blocos cerâmicos

Etapa	Material	Quantidade	Unidade
Superestrutura (Pilares e Vigas)	Volume de concreto	67,96	m ³
	Aço (armadura)	6047,00	kg
Paredes	Tijolos cerâmicos	915,20	m ²
	Argamassa de assentamento	18,58	m ³

Fonte: Autora.

Para o sistema construtivo ICF são utilizadas 2 unidades de fôrma e 2 kg de aço por metro quadrado de parede.

A Tabela 5 demonstra o consumo de materiais utilizados no sistema ICF nas etapas de superestrutura, paredes e revestimentos.

Tabela 5 – Consumo de material pelo sistema ICF

Etapa	Material	Quantidade	Unidade
Superestrutura (Pilares e Vigas)	Volume de concreto	21,99	m ³
	Aço (armadura)	1.469,20	kg
Paredes	Fôrmas EPS	1830,40	Un
	Concreto	50,79	m ³
	Aço	1.830,40	kg

Fonte: Autora.

Pelos dados apresentados nas tabelas 4 e 5, nota-se que há um consumo menor de concreto e aço na etapa de superestrutura para o sistema ICF quando comparado à alvenaria

convencional de blocos cerâmicos, isso acontece porque as paredes de ICF possuem função estrutural. Dessa forma a quantidade de pilares e vigas convencionais é menor nesse sistema (MENDES; PEREIRA; RODRIGUES, 2021).

Após determinar o consumo dos principais materiais empregados em cada etapa analisada da obra foi possível calcular as emissões de CO₂ dos diferentes sistemas construtivos.

6.2 EMISSÃO DE CO₂ POR MATERIAL

A partir dos procedimentos indicados no item 5.6, é possível calcular as emissões de CO₂ referentes a cada material empregado. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos nos cálculos. Para tanto, foi considerado as principais fontes de energia consumidas na fabricação dos materiais de construção, sendo elas: óleo diesel, eletricidade, coque de carvão mineral, lenha e gás natural.

Tabela 6 - Emissão de CO₂ por materiais

Fonte de energia	Consumo primário de energia (Kg de CO ₂ /MJ) (Tabela 2)	Geração de CO ₂ (Tabela 3)	EE (MJ/m ³) (Tabela 1)	Emissões de CO ₂ por materiais (KgCO ₂ / m ³)
AREIA				
Óleo diesel	0,99	0,0798	80	6,320
Eletricidade	0,01	0,0181		0,014
Total de emissões				6,335 Kg de CO ₂ / m ³
BRITA				
Óleo diesel	0,85	0,0798	247,5	16,788
Eletricidade	0,15	0,0181		0,672
Total de emissões				17,460 Kg de CO ₂ / m ³
CIMENTO				
Óleo diesel	0,03	0,0798	8190	19,607
Eletricidade	0,12	0,0181		17,789
Total de emissões				37,396 Kg de CO ₂ / m ³
AÇO				
Óleo diesel	0,01	0,0798	235500	187,929
Gás natural	0,06	0,0506		714,978
Coque carvão mineral	0,71	0,0915		15299,258
Eletricidade	0,10	0,0181		426,255
Total de emissões				16.628,420 Kg de CO ₂ / m ³

Tabela 6 – Emissão de CO2 por materiais

(continuação)

Fonte de energia	Consumo primário de energia (Tabela 2)	Geração de CO2 (Tabela 3)	EE (MJ/m ³) (Tabela 1)	Emissões de CO2 por materiais (KgCO2/ m ³)
CERÂMICA VERMELHA				
Óleo diesel	0,04	0,0798	4060	12,960
Elettricidade	0,02	0,0181		1,470
Lenha	0,85	0,0816		281,602
Total de emissões				296,031 Kg de CO2/ m ³
POLIESTIRENO EXPANDIDO				
Óleo diesel	0,08	0,0798		28,600
Gás natural	0,11	0,0506	4480	24,936
Coque carvão mineral	0,10	0,0915		40,992
Elettricidade	0,20	0,0181		16,218
Total de emissões				110,746 Kg de CO2/ m ³
CAL				
Óleo diesel	0,12	0,0798		43,092
Elettricidade	0,08	0,0181	4500	6,516
Lenha	0,80	0,0816		293,76
Total de emissões				343,368 Kg de CO2/ m ³

Fonte: Autora.

Pelos resultados obtidos na Tabela 6, nota-se que dentre os materiais empregados o aço é o maior emissor de CO₂, seguido da cerâmica vermelha, poliestireno expandido, cimento, brita e areia.

O aço apresenta-se como um material com grande emissão de CO₂ devido à utilização do coque como principal fonte de combustível (SCHUSTER *et al.*, 2019).

Após quantificar as emissões de CO₂ liberadas por cada material, é possível calcular as taxas de CO₂ emitidas em cada etapa construtiva.

6.3 EMISSÃO DE CO₂ POR ETAPA CONSTRUTIVA DO SISTEMA DE ALVENARIA CONVENCIONAL DE BLOCOS CERÂMICOS

Como já mencionado, serão quantificadas as emissões de dióxido de carbono para dois sistemas construtivos distintos. Nessa seção serão apresentadas as emissões referentes à construção da alvenaria convencional de blocos cerâmicos em cada etapa considerada.

6.3.1 Emissão de CO₂ na Etapa de Superestrutura

Para determinar a emissão de CO₂ na etapa de superestrutura foi considerado o consumo dos materiais empregados para 1,0 m³ de concreto com Fck 25MPa conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Consumo de materiais para 1 m³ de concreto Fck 25Mpa

Material	Unidade	Consumo
Areia lavada tipo média	m ³	0,867
Brita 1	m ³	0,209
Brita 2	m ³	0,627
Cimento Portland	kg	349

Fonte: Adaptado de TCPO (2010).

A partir do consumo obtido para 1,0 m³ de concreto e os valores das emissões de CO₂ por material apresentados na Tabela 6, foi determinado a quantidade de CO₂ emitido pelo concreto e aço na etapa de superestrutura, conforme apresentado nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8– Emissões de CO₂ para 1 m³ de concreto

Material	Unidade	Quantidade (Tabela 7)	CO ₂ por material (Tabela 6)	CO ₂ total (kg)
Areia média	m ³	0,867	6,335	5,492
Brita 1	m ³	0,209	17,460	3,649
Brita 2	m ³	0,627	17,460	10,947
Cimento Portland	kg	349	37,396	13.051,204
Total de emissões para 1m ³ de concreto				13.071,292
Total de emissões para 67,96 m ³ de concreto				888.325,004

Fonte: Autora.

Tabela 9 - Emissão de CO₂ do aço

Material	Unidade	Quantidade (Tabela 4)	CO ₂ por material (Tabela 6)	CO ₂ total (kg)
Aço	kg	6.047,00	16.628,42	100.552.055,74
Total de emissões do aço				100.552.055,74
Total de emissões na etapa de superestrutura				101.440.380,744

Fonte: Autora.

6.3.2 Emissão de CO₂ na Etapa de Vedação

Para o caso de paredes de alvenaria convencional de blocos cerâmicos, foi considerado um rendimento de 50 blocos/m² (CUNHA, 2016). De acordo com a Tabela 4, a área de

alvenaria é 915,20 m², portanto, o rendimento total dos blocos cerâmicos em unidades é de 45.760 blocos. Considerando a emissão por material obtida na Tabela 6 e a quantidade em unidades de blocos, pode-se determinar a emissão de CO₂ da alvenaria de blocos cerâmicos, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10– Emissão de CO₂ dos blocos cerâmicos

Material	Unidade	Quantidade (Tabela 4)	CO₂ por material (Tabela 6)	CO₂ total (kg)
Bloco cerâmico	Un	45.760	301,187	13.782.317,12

Fonte: Autora.

Para o assentamento dos blocos foi considerado uma argamassa de traço 1:2:9 (cimento: cal: areia). Na Tabela 11 é apresentado o consumo de materiais para 1m³ de argamassa.

Tabela 11- Consumo de materiais para 1 m³ de argamassa

Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar (Traço 1:2:9)		
Material	Unidade	Consumo
Areia lavada tipo média	m ³	1,22
Cal hidratada CH III	kg	162
Cimento Portland	kg	162

Fonte: Adaptado de TCPO (2010).

Para execução de 1m² de alvenaria, considera-se um volume de argamassa de 0,0203m³ por metro quadrado de alvenaria (CUNHA, 2016). Portanto, multiplicando esse volume de argamassa aos valores da tabela 10, tem-se o consumo de materiais para 1m² de alvenaria. Pode-se então obter o consumo para a área total de alvenaria e a partir dos dados da Tabela 6, obter as emissões de CO₂ geradas pela argamassa de assentamento, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12- Emissões de CO₂ geradas pela argamassa de assentamento

Material	Unidade	Área	Consumo (Para 1m² de alvenaria)	Consumo total	CO₂ por material (Tabela 6)	CO₂ total (kg)
Areia lavada tipo média	m ³	915,20	0,025	22,88	6,335	144,94
Cal hidratada CH III	kg	915,20	3,289	3010,09	343,368	1.033.568,58
Cimento Portland	kg	915,20	3,289	3010,09	37,396	112.565,33
Total de emissões						1.146.278,85

Fonte: Autora.

Portanto, para a etapa de vedação obteve-se uma emissão total de CO₂ de 14.928.595,97 Kg.

6.4 EMISSÃO DE CO₂ POR ETAPA CONSTRUTIVA DO SISTEMA ICF

Para a quantificação das emissões geradas pelo sistema ICF, repete-se os mesmos passos para cada etapa construtiva.

6.4.1 Emissão de CO₂ na Etapa de Superestrutura

Para etapa de superestrutura considera-se os dados de consumo para 1m³ de concreto determinados na Tabela 7, sendo que para o volume de 21,99 m³ (Tabela 5) é obtido uma total de emissões igual a 262.684,778 kg.

Para determinar as emissões geradas pelo aço usado na superestrutura, basta multiplicar a quantidade de aço da superestrutura (Tabela 5) pelo CO₂ emitido (Tabela 6), resultando em 24.430.474,664 Kg.

Portanto, para a etapa de superestrutura foram emitidos 24.693.159,442 kg de CO₂, obtidos pela soma das emissões do concreto e do aço.

6.4.2 Emissão de CO₂ na Etapa de Vedação

Para as paredes de ICF, foi considerado um rendimento de 2 un/m². Dessa forma, de acordo com a Tabela 4, são necessárias 1830,40 unidades de fôrmas de ICF. Multiplicando a emissão de CO₂ gerada pelo poliestireno expandido (Tabela 6) pela quantidade de fôrmas pode-se determinar a emissão de CO₂ total do EPS, que é igual a 202.709,478 kg.

Também para a etapa de vedação considera-se o aço e o concreto usados no preenchimento das fôrmas.

No caso do concreto utilizado para preenchimento das fôrmas as quantidades de materiais necessários foram determinadas pelo próprio fornecedor do ICF e estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13– Consumo de materiais para concreto de preenchimento das fôrmas ICF

Insumos - Concreto para preenchimento das fôrmas ICF		
Material	Unidade	Consumo
Areia lavada tipo média	m ³	35
Brita 0 ou pedriscos	m ³	40
Cimento Portland	kg	15.850

Fonte: Autora.

A partir dos dados obtidos nas Tabelas 6 e 12, pode-se obter o total de emissões geradas pelo concreto na etapa de vedação (Tabela 14).

Tabela 13– Emissões de CO₂ geradas pelo concreto na etapa de vedação

Material	Unidade	Quantidade (Tabela 12)	CO₂ por material (Tabela 6)	CO₂ total (kg)
Areia lavada tipo média	m ³	35	6,335	221,725
Brita 0 ou pedriscos	m ³	40	17,460	698,4
Cimento Portland	kg	15.850	37,396	592726,6
Total de emissões				593.646,725

Fonte: Autora.

O aço é responsável por emitir 16.628,420 Kg de CO₂, considerando o consumo de 1830,40 kg, conforme mencionado, tem-se uma emissão total de 30.436.659,968 kg de CO₂.

Pelo somatório das emissões resultantes do sistema ICF, considerando as etapas de superestrutura e vedação é obtido um total de 55.926.175,613 kg de CO₂ emitidos pela edificação.

6.5 COMPARATIVO DAS EMISSÕES GERADAS PELOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

As emissões totais de dióxido de carbono (CO₂) geradas pelos sistemas construtivos em cada etapa analisada são apresentadas na Tabela 15.

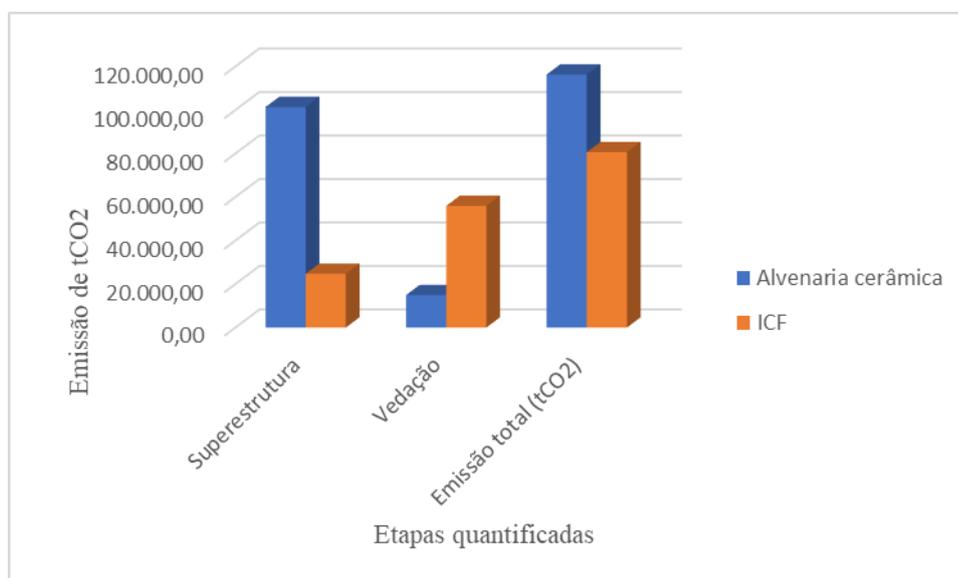
Tabela 14 – Emissões totais de CO₂ para os sistemas analisados

Etapas	Alvenaria convencional de blocos cerâmicos	ICF
Superestrutura	101.440,38	24.693,16
Vedação	14.928,60	55.926,18
Emissão total (tCO₂)	116.368,98	80.619,34

Fonte: Autora.

Com base nos dados relacionados na Tabela 15, o gráfico abaixo apresenta um comparativo do total de emissões liberadas por etapa quantificada dos sistemas avaliados, em toneladas de CO₂ (Figura 14).

Figura 14 – Emissão de CO₂ por etapa quantificada



Fonte: Autora.

De acordo com o gráfico, pode-se observar que a etapa de superestrutura é a principal responsável pelas emissões de CO₂ na construção da unidade residencial utilizando blocos cerâmicos. Isso porque o aço e o cimento, como já mencionado, são responsáveis por elevada taxa de emissões.

Quanto à etapa de vedação, nota-se que o sistema ICF apresenta maior geração de dióxido de carbono, pois em sua execução utiliza o concreto e o aço para preenchimento das fôrmas de EPS.

No geral, há maior liberação de CO₂ na atmosfera pelo sistema de alvenaria convencional de blocos cerâmicos do que pelo sistema ICF.

Outros autores, indicados a seguir, também estimaram que a cerâmica vermelha é mais poluente que outros materiais como bloco de solo cimento, bloco de concreto e madeira de reflorestamento.

Schuster *et al.* (2019), ao compararem a utilização de blocos de solo cimento à alvenaria cerâmica, estimou que há uma redução de 64,95% na emissão de CO₂ quando se utiliza blocos de solo-cimento, isso porque durante o processo de fabricação os blocos de solo-cimento dispensam a etapa de cozimento, responsável por gerar grandes quantidades de CO₂.

Além disso, produtos cerâmicos como tijolos utilizam em seus processos a queima de biomassa, o que gera forte quantidade de CO₂ (LIMA; FERNANDES; DANTAS, 2018). Cada etapa de produção da cerâmica consome uma quantidade considerável de energia responsável pelo aumento do efeito estufa (SANTOS *et al.*, 2016).

Cunha (2016) também estima uma redução nas emissões de CO₂ geradas pela substituição de blocos cerâmicos por blocos de solo-cimento, uma vez que os blocos de solo-cimento dispensam o corte de árvores sendo assim considerados mais sustentáveis do ponto de vista ambiental.

Além disso, Caldas e Sposto (2017), comparando blocos de concreto à blocos cerâmicos durante todo o seu ciclo de vida, concluíram que as emissões da indústria para o bloco de concreto foram cerca de 7% inferior ao bloco cerâmico.

Para o sistema ICF nota-se uma redução de 30,72% das emissões de dióxido de carbono na substituição dos blocos cerâmicos por fôrmas de ICF, pois o sistema exige menor quantidade de pilares e vigas e, portanto, menor quantidade de concreto.

Sendo assim, verifica-se a importância da substituição de sistemas construtivos por outros que apresentem menor quantidade de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), minimizando os impactos gerados ao meio ambiente.

7 CONCLUSÕES

Através dos cálculos das emissões de dióxido de carbono, associadas aos materiais utilizados em cada sistema construtivo, foi possível quantificar as emissões geradas pelo emprego dos diferentes sistemas analisados.

Das etapas construtivas avaliadas: superestrutura e vedação, para o sistema convencional de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos, a superestrutura foi a etapa com maior emissão de dióxido de carbono (CO₂), pois utiliza cimento e aço, principais geradores de CO₂.

Para o sistema *Insulated Concrete Forms* (ICF), a vedação foi a etapa que apresentou maiores emissões, por se tratar de um sistema construtivo que utiliza concreto e aço na etapa de vedação.

Comparando os dois sistemas construtivos pode-se dizer ainda que o sistema ICF gera uma quantidade menor de resíduos, pois a maior parte do que é gerado é reciclável (MUNARO, 2018).

O EPS, principal material de vedação utilizado no sistema ICF, é 100% reaproveitável e reciclável, podendo retornar ao seu estado de matéria prima, além de não conter gás clorofluorcarboneto (CFC) em sua composição, desta forma não contamina o solo, água ou ar (YAMASHITA *et al.*, 2012).

Sendo assim, pelos resultados obtidos, pode-se afirmar que, para a construção da unidade residencial unifamiliar, o emprego do sistema ICF é o mais benéfico do ponto de vista ambiental, tendo em vista que apresentou melhores resultados quando se analisa as emissões de dióxido de carbono geradas na construção.

Dessa forma, pode-se concluir que os objetivos propostos no trabalho foram alcançados, pois foram quantificadas as emissões de CO₂ para os sistemas construtivos analisados, considerando o consumo dos diferentes materiais empregados. Com isso, diante dos resultados expostos nota-se a importância de analisar novos sistemas e materiais construtivos que gerem menos impactos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8545**: execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos: procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos: blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO - ABRAPEX. **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo: Pini, 2006.

AZEVEDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.125 p.

BASTOS JUNIOR, A. P. **Análise de viabilidade econômica do método construtivo insulated concrete forms para construção de habitações**. Mossoró, 2018. Monografia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil.

BASTOS, P. S. S. Lajes de concreto. **Estruturas de Concreto I**. Bauru, SP: UNESP, 2015. Disponível em: < www.feb.unesp.br/pbastos>. Acesso em 31 de agosto de 2021.

BEZERRA, A. V. R; NUNES, A. G. **Estrutura de laje pré-moldada: análise comparativa entre enchimento com EPS e bloco cerâmico**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência e tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5. ed. Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, DF, 2013.

CALDAS, L. R. **Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO₂ de uma Edificação Habitacional Unifamiliar de Light Steel Framing**. Dissertação (Mestrado) Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2016.

CALDAS, L. R. et al. **Emissões de CO₂ no Ciclo de Vida de Habitações de Interesse Social: Estudo de Caso para o DF - Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção - SIBRAGEC. São Carlos, 2015.

CALDAS, L.R. SPOSTO, R. M. **Emissões de CO₂ referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto**. Porto Alegre, 2017.

CBIC & CNI – Câmara Brasileira da Indústria da Construção e Confederação Nacional da Indústria. **Construção Sustentável: A mudança em curso**. Brasília: CNI, 2017.

- CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Sustentabilidade na construção**. CBCS, 2007. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/noticia/show.asp?npgCode=DBC0153A-072A-4A43-BB0C-2BA2E88BEBAE>>. Acesso em 22 de junho de 2021.
- CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **O que é desenvolvimento sustentável?**. Disponível em: <<https://cebds.org/development-sustainable/#.YNDA-WhKhPY>>. Acesso em 23 de junho de 2021.
- CUNHA, I. B. da. **Quantificação das emissões de CO2 na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. Porto Alegre, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia dos Materiais). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.
- DORNELES, D. M. **Lajes na construção civil brasileira: estudo de caso em edifício residencial em Santa Maria-RS**. Santa Maria, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.
- FALCONI, F. *et al.* **Fundações teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2019.
- MESQUITA FILHO, J. de. **Estudo das lajes**. São Paulo, 2004. Universidade Estadual Paulista.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. 1ª ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GUIMARÃES, Andrei Hammes. **Análise da viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas construtivos aplicados às habitações de interesse social de Florianópolis**. Florianópolis, 2014. 28 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- ICF BUILDER – THE INSULATING CONCRETE FORMS MAGAZINE. **History of ICF's**. Disponível em: <<https://www.icfmag.com/2011/02/history-of-icfs/>>. Acesso em 29 de junho de 2021.
- ICF CONSTRUTORA INTELIGENTE. **Conheça o Sistema Construtivo ICF**. Disponível em: <<http://www.icfconstrutora.com.br/sistema-construtivo-icf/conheca-osistema>>. Acesso em 29 de junho de 2020.
- ICF CONSTRUTORA. Memorial Técnico Iforms ICF, 2021.
- ICS – Instituto Clima e Sociedade. **Desafios do clima**. Disponível em: <<https://www.climaesociedade.org/desafios-para-o-brasil-1>>. Acesso em 28 de junho de 2021.
- JESUS, A. T. C; BARRETO, M. F. F. M. **Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto (ICF)**. E&S – Engineering and Science, 2018, 7:3ed. Disponível em: <<http://www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/download/6926/4862>>. Acesso em 19 de julho de 2021.

LIMA, E. M; FERNANDES, R. T. V. DANTAS, S. L. **Quantificação de co2 emitido decorrente dos materiais empregados na construção de uma residência unifamiliar.** In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Maceió, 2018.

MARCOS, M. H. C. **Análise da Emissão de CO2 em Edificações através do Uso de uma Ferramenta CAD-BIM.** In: Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital – SIGraDi. São Paulo, 2019.

MENDES, J. M; PEREIRA, B. S. RODRIGUES, P. B. F. **Comparativo de custo e produtividade dos métodos construtivos em EPS e concreto armado.** 2021. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil.

MUNARO, G. F. **Construção modular: um comparativo entre o método insulated concrete forms (icf) e o método convencional em bloco cerâmico.** Nova Xavantina, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil.

OLIVEIRA, Paula Miranda de. **Estudo comparativo entre os sistemas construtivos: painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos e alvenaria convencional utilizando blocos cerâmicos.** Formiga, MG, 2018. 17 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia civil). Centro universitário de formiga, Formiga, MG, Brasil.

PASLAUSKI, M. A. **Estudo comparativo de custos entre construção realizada em alvenaria estrutural e construção em concreto armado com alvenaria de vedação.** Ijuí, RS, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia civil). Universidade Regional Do Noroeste do Estado do Rio Grande Do Sul, Ijuí, RS, Brasil.

PENTEADO, P. T; MARINHO, R. C. **Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: alvenaria de solo-cimento, alvenaria com blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos de concreto na construção de uma residência popular.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

PEDROSO, G. M. **Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações.** Brasília, 2015. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) Universidade de Brasília, Brasil. SANTOS, E. B de. **Estudo comparativo de viabilidade entre alvenaria de blocos cerâmicos e paredes de concreto moldadas no local com fôrmas metálicas em habitações populares.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

PINHEIRO, L. M; MUZZARDO C. D; SANTOS, S. P. **Vigas – capítulo 15.** Disponível em: < <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/Vigas.pdf>>. Acesso em 31 de agosto de 2021.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** São Paulo: Atlas, 2012.

RIZZO, G; PIMENTEL, L.L. **Estudo da aderência entre concreto com resíduos de construção cinza e o aço pelo método apulot.** Pontifícia Universidade Católica, 2014.

SANTOS, F. P. *et. al.* **Quantificação das emissões de co2 dos materias utilizados na construção de uma residência em Caçapava do Sul/RS.** Brasília, 2016.

SANTOS, T. C. de C. **Sistema construtivo Insulated Concrete Forms (ICF): estudo de caso viabilidade técnica, econômica e sustentabilidade na construção civil.** Faculdade Doctum, Juíz de Fora, 2020.

SEBRAE. **Construção Sustentável: da teoria à prática.** Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/construcao-sustentavel-da-teoria-a-pratica,d46a1512f1696410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em 23 de junho de 2021.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos.** Disponível em: <<http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>>. Acesso em 02 de julho de 2021.

SILVA, A. J. **Análise da fundação do castelo d'água do campus da ufrb em cruz das almas - estaca tipo broca.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências exatas e tecnologia) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das almas.

SILVA, A. R. da. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado.** 2002. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVA, A. V. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do Ceará – da extração da matéria-prima à fabricação.** 2009. Monografia (Engenharia civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SCHUSTER, B. S. *et al.* **Comparativo entre sistemas construtivos para a quantificação de emissão de CO₂.** In: 2º Congresso Sul- Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu, 2019.

SOUSA, A. A. *et al.* **Discutindo o conceito de fundações.** In: II Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar e I Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. 2018.

SOUSA, Ramile Gomes Uzeda. **Quantificação das emissões de co₂ dos materiais de construção: aço, areia, brita, cerâmica vermelha e cimento - estudo de caso em empreendimento habitacional de interesse social.** Cruz das almas, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências exatas e tecnológicas). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Florianópolis, 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.]

TRAZZI, L. C; GIANDON, A. C. **Execução de pilares de concreto armado moldados in-loco e suas possíveis manifestações patológicas.** In: Revista UNINGÁ Review. Paraná, 2016.

UNEP - UN Environment Programme. **Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019 - relatório da ONU.** Tradução de Laura Larré, UNV Online. Disponível em: <<https://www.unep.org>>. Acesso em 24 de julho de 2021.

WEIDLE, E. P. S. **Sistemas construtivos na programação arquitetônica de edifícios de saúde.** 1995. Disponível em:<

<https://www.anvisa.gov.br/servicosaude/manuais/sistemas.pdf>>. Acesso em: 29 de junho de 2021.

YAMASHITA, J.; MORAES, H. G.; FONTANINI, P. S. P., Dra.; BANOW, M.C.; LOVATTO, C. G.; TEIXEIRA, O. S. **Análise da Cadeia de Suprimentos de EPS na Construção Civil - Alvenaria de Painéis com Placas de Isopor**. XIV ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Juiz de Fora. 2012.