



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

DANILO DOS SANTOS SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS
MÉTODOS CONSTRUTIVOS: LIGHT STEEL FRAME (LSF) E ALVENARIA
CONVENCIONAL DE BLOCO CERÂMICO EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL
NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS/BA.**

BARREIRAS-BA

2025

DANILO DOS SANTOS SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS
MÉTODOS CONSTRUTIVOS: LIGHT STEEL FRAME (LSF) E ALVENARIA
CONVENCIONAL DE BLOCO CERÂMICO EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL
NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS/BA.**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito total à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Dsc. José Leonardo Vanderlei de Carvalho
Coorientador: Dsc. Pedro Paulo Martins de Carvalho

BARREIRAS-BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S586 Silva, Danilo dos Santos.

Análise comparativa dos impactos ambientais gerados pelos métodos construtivos: Light Steel Frame (LSF) e alvenaria convencional de bloco cerâmico em uma edificação comercial no município de Barreiras/Ba. / Danilo dos Santos Silva. – 2025.

80f.

Orientador: Prof. Dsc. José Leonardo Vanderlei de Carvalho.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2025.

1. Alvenarias de vedação; 2. Construções sustentáveis. 3. Energia embutida. 4. Emissões de CO₂. I. Carvalho, José Leonardo Vanderlei de. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624


DANILO DOS SANTOS SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS
MÉTODOS CONSTRUTIVOS: LIGHT STEEL FRAME (LSF) E ALVENARIA
CONVENCIONAL DE BLOCO CERÂMICO EM UMA EDIFICAÇÃO
COMERCIAL NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS/BA.**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau
de engenheiro civil.


Aprovada em 18 de julho de 2025

Banca Examinadora


Documento assinado digitalmente
 JOSE LEONARDO VANDERLEI DE CARVALHO
Data: 23/07/2025 11:28:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador(a): _____ Dr.

José Leonardo Vanderlei de Carvalho
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Documento assinado digitalmente
 CLAUDIO ALEX DE OLIVEIRA PIRES
Data: 18/07/2025 18:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc. Cláudio Alex de Oliveira Pires Universidade
Federal do Oeste da Bahia

Documento assinado digitalmente
 LUDIMILLA DA SILVEIRA FERREIRA SILVA
Data: 23/07/2025 17:40:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc. Ludimilla da Silveira Ferreira Silva Universidade
Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela vida e pela graça de ter me concedido a oportunidade de realizar este trabalho, sustentando-me com força e sabedoria em todos os momentos.

À minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão, dedico minha eterna gratidão pelo incansável apoio, sacrifícios e orientação que tornaram possível minha trajetória acadêmica. O amor incondicional e a crença no meu potencial foram alicerces fundamentais para minha formação.

À minha amada Carla Maciel, meu profundo agradecimento por seu apoio incondicional durante esta jornada. Mesmo com a distância, sua paciência, incentivo e presença constante foram fundamentais. Nosso amor não apenas resistiu, como se fortaleceu a cada desafio, tornando-se meu maior alicerce.

Às amigas que cultivei ao longo da graduação - em especial a Vitor Abade, Gabriel Freitas, Kaique Silva, Lucas Souza e Gustavo Gonçalves, companheiros desde os tempos do Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia - dirijo meu profundo agradecimento. Vocês transformaram os desafios da graduação em experiências enriquecedoras através do compartilhamento de conhecimentos, das histórias que construímos juntos e dos momentos de descontração que tanto alegraram nossos dias. Suas companhias foram fundamentais para tornar esta caminhada não apenas possível, mas verdadeiramente significativa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Leonardo, e ao meu coorientador, Prof. Pedro Paulo, expresso minha profunda gratidão pela orientação sábia, pela disponibilidade, pelas valiosas sugestões e pelo constante estímulo intelectual que enriqueceram não apenas este trabalho, mas minha formação como um todo.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Cláudio Alex e Prof. Ludimilla da Silveira, agradeço pela disponibilidade e pelas contribuições que certamente aperfeiçoaram esta pesquisa. Estendo meus agradecimentos a todos os docentes que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação acadêmica.

Às empresas Espaço Smart e Unno Engenharia, bem como ao arquiteto Sérgio Caus, agradeço pela disponibilidade e pelos dados técnicos compartilhados, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, à Universidade Federal do Oeste da Bahia e ao Centro das Ciências Exatas e Tecnologias, manifesto meu reconhecimento pela estrutura oferecida e pelo apoio institucional durante toda a minha graduação.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo principal analisar comparativamente os impactos ambientais gerados pelos métodos construtivos Light Steel Frame (LSF) e alvenaria convencional de bloco cerâmico (ACBC) em uma edificação comercial no município de Barreiras/BA. A pesquisa focou em três aspectos fundamentais: a quantidade de resíduos de construção civil (RCC) gerados durante a fase de construção; a energia embutida nos materiais utilizados; e as emissões de CO₂ associadas ao ciclo de vida pré-operacional de cada sistema. Para isso, foi realizado um levantamento quantitativo dos materiais utilizados em uma edificação real projetada em LSF, seguido de uma simulação da mesma estrutura em alvenaria convencional, utilizando softwares como REVIT 2025 Educacional e EBERICK 2024 Infinity, além dos dados da Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO). A metodologia incluiu a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com cálculo da energia embutida (EE) e das emissões de CO₂ baseado nas massas de RCC geradas em cada sistema. Os resultados demonstraram um consumo na ordem 4,2 vezes maior de materiais, geração 5,6 vezes maior de RCC, demanda 6,82 vezes maior de EE e emissão quase 7 vezes maior de CO₂, quando comparado ACBC em relação ao LSF. A eficiência do LSF deve-se à racionalização de materiais, precisão na montagem e redução de perdas, embora sua fundação (radier) tenha apresentado maior consumo inicial de concreto. A análise destacou ainda a otimização no uso do aço, responsável por apenas 28,88% das emissões no LSF, contra 66% na ACBC. Comparado a estudos anteriores, este trabalho demonstra avanços expressivos no LSF: gera 164% menos resíduos que Mass (2017), consome 95% menos energia que Carminatti (2012) e reduz 86% das emissões de CO₂ - superando inclusive os 46,8% de redução reportados por Silva et al. (2022). O estudo reconhece desafios na adoção do LSF no Brasil, como a necessidade de mão de obra especializada e mudanças culturais, mas reforça seu potencial para construções de média escala, alinhando eficiência, redução de impactos ambientais e viabilidade técnica. Conclui-se que a escolha do sistema construtivo deve priorizar não apenas critérios técnicos e econômicos, mas também seu impacto ambiental.

Palavras-chave: alvenarias de vedação. construções sustentáveis. energia embutida. emissões de CO₂.

ABSTRACT

The main objective of this study was to conduct a comparative analysis of the environmental impacts generated by Light Steel Frame (LSF) and conventional ceramic block masonry (CCBM) construction methods in a commercial building in the municipality of Barreiras, Bahia, Brazil. The research focused on three key aspects: (1) the quantity of construction and demolition waste (CDW) generated during the construction phase; (2) the embodied energy of the materials used; and (3) the CO₂ emissions associated with the pre-operational life cycle of each system. To achieve this, a quantitative survey of materials used in an actual LSF-designed building was conducted, followed by a simulation of the same structure using conventional masonry. The analysis employed software such as REVIT 2025 Educational and EBERICK 2024 Infinity, along with data from the TCPO (Price Composition Table for Budgets). The methodology included Life Cycle Assessment (LCA), calculating embodied energy (EE) and CO₂ emissions based on the mass of CDW generated in each system. The results revealed that, compared to LSF, CCBM required 4.2 times more materials, generated 5.6 times more CDW, demanded 6.82 times more EE, and emitted nearly 7 times more CO₂. The efficiency of LSF stems from material rationalization, precise assembly, and reduced waste, although its foundation (raft slab) initially required more concrete. The analysis also highlighted optimized steel usage, responsible for only 28.88% of emissions in LSF, compared to 66% in CCBM. When compared to previous studies, this research demonstrates significant advancements in LSF performance: it generates 164% less waste than Mass (2017), consumes 95% less energy than Carminatti (2012), and reduces CO₂ emissions by 86%—surpassing even the 46.8% reduction reported by Silva et al. (2022). The study acknowledges challenges in LSF adoption in Brazil, such as the need for skilled labor and cultural shifts in construction practices. However, it reinforces LSF's potential for mid-scale construction, aligning efficiency, environmental impact reduction, and technical feasibility. The findings suggest that the choice of construction system should prioritize not only technical and economic criteria but also environmental sustainability.

Keywords: partition masonry walls. sustainable buildings. embodied energy. CO₂ emissions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura em LSF.	17
Figura 2 – Protótipo de residência em LSF exposta em 1933.	18
Figura 3 – Exemplos de construções em LSF: a) Rio Media Center; b) Condomínio Colina das Pedras; c) Casa do Jardim.	19
Figura 4 – Componentes do sistema LSF: a) Placas OSB, b) Placa Cimentícia, c) Drywall, d) Perfis de aço galvanizado, e) Isolantes térmicos e acústicos, f) Lã de vidro.....	20
Figura 5 – Síntese dos subsistemas componentes do LSF.	22
Figura 6 – Componentes da ACBC a) Bloco cerâmico; b) Argamassa de assentamento; c) Armadura; d) Concreto.....	28
Figura 7 – Ciclo de vida dos produtos de construção (tradução nossa).	32
Figura 8 – Fases de uma ACV.....	35
Figura 9 – Ciclo de vida energético de uma edificação.....	35
Figura 10 – Localização do município de Barreiras – BA.	37
Figura 11 – Planta Baixa (Pavimento Térreo).	38
Figura 12 – Planta Baixa (Pavimento Tipo).	39
Figura 13 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	40
Figura 14 – Relação de material utilizado por RCC gerado na obra em LSF.	51
Figura 15 – Porcentagem de perdas por RCC na obra em ACBC por material.	53
Figura 16 – Porcentagem de perdas por RCC na obra em ACBC por produto.	54
Figura 17 – Comparativo na etapa de fundação entre LSF e ACBC: a) Radier; b) Sapata.....	55
Figura 18 – Relação de consumo de EE por etapa construtiva: a) LSF b) ACBC.....	57
Figura 19 – Emissões de CO ₂ na obra em LSF.	59
Figura 20 – Emissões de CO ₂ na obra ACBC	60
Figura 21 – Comparativo do LSF e ACBC: a) Quantidade utilizada; b) RCC; c) EE; d) Emissões de CO ₂	61
Figura 22 – Comparação de RCC entre as literaturas.	62
Figura 23 – Comparação da EE entre as literaturas.....	63
Figura 24 – Comparação das emissões de CO ₂ entre as literaturas.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices de perda por resíduo utilizados.	42
Tabela 2 – EE e emissões de CO ₂ nos materiais.	43
Tabela 3 – Quantidade de material adquirida LSF.	47
Tabela 4 – Levantamento de materiais das estruturas em concreto armado.	48
Tabela 5 – Traço do concreto 25Mpa e as quantidades totais de materiais para fundação.	48
Tabela 6 – Volume de madeira para fôrmas do pavimento térreo.	49
Tabela 7 – Composição paredes de vedação do pavimento térreo.	49
Tabela 8 – Traço de argamassas de revestimento.	49
Tabela 9 – Composição das argamassas de revestimento do pavimento térreo.	50
Tabela 10 – Quantidade de materiais na obra em LSF.	50
Tabela 11 – Quantidade de materiais na obra em ACBC.	52
Tabela 12 – Energia embutida nos resíduos da obra de LSF e ACBC, por parte da edificação.	56
Tabela 13 – Emissões de CO ₂ nos resíduos da obra de LSF e ACBC, por parte da edificação.	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas fundamentais da montagem do LSF.	23
Quadro 2 – Vantagens e Desvantagens do LSF.	24
Quadro 3 – Principais abordagens das normas, regulamentações e legislações nacionais apresentadas.	25
Quadro 4 – Principais abordagens das normas, regulamentações e legislações internacionais apresentadas.	26
Quadro 5 – Vantagens e desvantagens da ACBC.	30
Quadro 6 – Principais abordagens das normas, regulamentações e legislações nacionais apresentadas.	31
Quadro 7 – Partes da edificação em LSF escolhidos para análise.	45
Quadro 8 – Partes da edificação em ACBC escolhidos para análise.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACBC	Alvenaria Convencional de Bloco Cerâmico
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVCO ₂	Análise de Ciclo de Vida de CO ₂
ACVE	Análise de Ciclo de Vida Energético
AIJ	Architectural Institute of Japan
ASTM	American Society for Testing and Materials
CEN	Comité Européen de Normalisation
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPU	Composição de Preços Unitários
CUB	Custo Unitário Básico
EE	Energia Embutida
Eurocódigos	Normas Europeias para Projeto de Estruturas
FCO ₂	Fator de CO ₂
FIPE	Tabela da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
IBEC	Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
JIS	Japanese Industrial Standards
LSF	Light Steel Frame
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
NR	Normas Regulamentadores
OSB	Oriented Strand Board
RCC	Resíduos de Construção Civil
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	17
2.1	STEEL FRAME	17
2.1.1	HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO	17
2.1.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	20
2.1.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS	23
2.1.4	NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS	24
2.2	ALVENARIA CONVENCIONAL DE BLOCO CERÂMICO	26
2.2.1	CONTEXTO HISTÓRICO	27
2.2.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	27
2.2.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS	29
2.2.4	NORMAS REGULAMENTADORAS	30
2.3	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA.....	31
2.3.1	GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	33
2.3.2	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E EMISSÕES DE CO ₂	34
2.3.3	FASES DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	35
2.3.4	APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	36
2.4	ESTUDO DE CASO	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1	SELEÇÃO DOS MATERIAIS	40
3.2	LEVANTAMENTO QUANTITATIVO.....	41
3.3	GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	41
3.4	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA.....	42
3.5	COMPARAÇÃO COM LITERATURA EXISTENTE.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1	SELEÇÃO DOS MATERIAIS.....	45
4.2	LEVANTAMENTO QUANTITATIVO.....	47
4.2.1	LSF	47
4.2.2	ACBC	47

4.3	GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	50
4.4	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA(ACV).....	55
4.5	COMPARAÇÃO COM LITERATURA EXISTENTE	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICES	75

1 INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira vive um momento de transição, em que métodos tradicionais convivem com sistemas inovadores que prometem revolucionar a forma como edificamos. Nesse contexto, o Light Steel Frame (LSF) emerge como uma tecnologia construtiva que desafia paradigmas estabelecidos há décadas, principalmente a predominância da alvenaria convencional de bloco cerâmico (ACBC) como método construtivo principal, a percepção de que a construção deve ser um processo lento e com alta geração de resíduos, e a crença de que a industrialização não se aplica à edificação.

O LSF se apresenta como uma alternativa à consagrada ACBC, propondo um processo mais rápido, limpo e com menor impacto ambiental. O setor da construção é reconhecidamente um dos que mais consomem recursos naturais e geram impactos ambientais. Diante dos desafios contemporâneos de sustentabilidade e eficiência, torna-se imprescindível avaliar criticamente os métodos construtivos disponíveis. O LSF, sistema que utiliza perfis de aço galvanizado e componentes industrializados, apresenta características distintas da alvenaria convencional em diversos aspectos, desde o processo executivo até seu desempenho ambiental.

Este trabalho se propõe a analisar comparativamente esses dois sistemas, com foco especial nos impactos ambientais gerados durante sua fase construtiva, concentrando-se especificamente em três dimensões críticas da sustentabilidade na construção civil: a geração de resíduos, o consumo energético incorporado e as emissões de gases de efeito estufa. A análise parte de um estudo de caso real: uma edificação comercial de quatro pavimentos localizada em Barreiras, Bahia, originalmente projetada em LSF. Para fins comparativos, foi desenvolvida uma simulação detalhada da mesma edificação utilizando o sistema de ACBC.

A metodologia empregada combina levantamento quantitativo de materiais, aplicação de normas técnicas e utilização de ferramentas computacionais como o software REVIT. A abordagem inclui ainda a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), método reconhecido internacionalmente para análise ambiental de produtos e processos. Os cálculos de energia embutida e emissões de CO₂ foram realizados com base nos dados coletados, permitindo uma comparação objetiva entre os dois sistemas.

Além dos aspectos ambientais, a pesquisa considera também implicações práticas como prazos de execução, necessidade de mão de obra especializada e aceitação no mercado brasileiro. Esses fatores são essenciais para compreender a viabilidade de adoção do LSF em larga escala no país, onde a ACBC ainda domina a maior parte das construções. Os resultados

obtidos oferecem subsídios valiosos para profissionais e acadêmicos da área de Engenharia Civil, além de gestores públicos e privados envolvidos com projetos de construção. A análise comparativa pretende contribuir para decisões mais informadas sobre a escolha de sistemas construtivos, considerando não apenas aspectos econômicos imediatos, mas também impactos ambientais de médio e longo prazos.

A estrutura deste trabalho está organizada em cinco capítulos principais. Após esta introdução, o segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, abordando os fundamentos técnicos do LSF, ACBC e análise do ciclo de vida, suas normas regulatórias e aspectos históricos, além de fazer uma breve abordagem sobre a tabela de composição de preços (TCPO). O terceiro capítulo detalha a metodologia de pesquisa, incluindo a seleção e levantamento dos materiais a serem analisados, a geração de resíduos, a análise do ciclo de vida e a comparação com a literatura existente. O quarto capítulo apresentará os resultados e discussões obtidos a partir das análises comparativas. Finalmente, o quinto capítulo trará as conclusões do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

A relevância deste estudo se justifica pela crescente necessidade de métodos construtivos mais sustentáveis, capazes de conciliar eficiência, qualidade e respeito ao meio ambiente. Num contexto global de preocupação com as mudanças climáticas e a escassez de recursos naturais, a construção civil precisa reinventar seus processos. O LSF representa uma dessas possibilidades de inovação, e este trabalho busca avaliar seu potencial com base em dados técnicos e análises criteriosas. Vale ressaltar que a pesquisa não pretende defender um sistema em detrimento do outro, mas sim oferecer uma comparação equilibrada que considere tanto vantagens quanto limitações de cada método.

A construção civil é por natureza um campo complexo, em que múltiplos fatores — técnicos, econômicos, sociais e ambientais — devem ser ponderados nas decisões de projeto e execução. Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram superados diversos desafios metodológicos, desde a obtenção de dados confiáveis até a adaptação de parâmetros internacionais para o contexto brasileiro. Esses esforços resultaram em uma análise abrangente que, espera-se, possa servir como referência para futuras pesquisas e projetos na área de sistemas construtivos sustentáveis. Por fim, é importante destacar que esta pesquisa se limita à fase pré-operacional das edificações, ou seja, ao período que vai desde a extração das matérias-primas até a conclusão da obra. Futuros estudos poderiam ampliar a análise para incluir também as fases de uso e demolição, completando assim a avaliação do ciclo de vida dos sistemas construtivos em sua totalidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Análise comparativa dos impactos ambientais gerados pelos métodos construtivos: Light Steel Frame (LSF) e alvenaria convencional de bloco cerâmico (ACBC) em uma edificação comercial no município de Barreiras/BA.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar a quantidade de resíduos de construção civil (RCC) gerados na fase de construção de uma edificação de múltiplos pavimentos concebidos em LSF em comparação com uma de ACBC;
- Analisar os impactos ambientais associados por cada método no seu ciclo de vida pré-operacional, em relação à energia embutida e emissões de CO₂.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 STEEL FRAME

O processo construtivo Steel Frame, também chamado de Light Steel Frame (LSF), é um sistema construtivo industrializado que vem crescendo no setor da construção civil (Figura 1). O método utiliza perfis de aço galvanizado como principal elemento estrutural, tendo destaque pela leveza, eficiência e sustentabilidade. Todavia, tal método ainda está conquistando sua popularização no Brasil, devido as barreiras culturais e técnicas (Battistella,2011).

Segundo Freitas *et al.* (2012), "o Steel Frame representa uma alternativa eficiente e sustentável aos métodos tradicionais de construção, especialmente em um cenário onde a redução de resíduos e o uso racional de recursos são prioridades". Tal afirmação retrata o crescente interesse por soluções inovadoras na construção civil.

Figura 1 – Estrutura em LSF.



Fonte: SMART (2024).

2.1.1 HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO

Em 1933, com o grande desenvolvimento da indústria do aço nos Estados Unidos, foi lançado na feira mundial de Chicago, o protótipo de uma residência em LSF (Figura 2) que utilizava perfis de aço substituindo a estrutura de madeira (Frechette, 1999).

Figura 2 – Protótipo de residência em LSF exposta em 1933.



Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, P. 13).

Segundo Crawford (2008), o crescimento da economia norte americana e a abundância na produção de aço no período após a segunda guerra mundial possibilitou a evolução nos processos de fabricação de perfis formados a frio e, a grande resistência e eficiência estrutural do aço, em conjunto com a capacidade da estrutura em resistir a catástrofes como terremotos e furacões (muito comuns no país), consolidaram o sistema no cenário da construção civil estadunidense.

Outro país de destaque, é o Japão que teve as primeiras construções em LSF após a segunda guerra mundial, devido a necessidade de uma reconstrução rápida das moradias destruídas. Na época, a madeira era a principal matéria prima utilizada nas construções, sendo um material inflamável, e que resultaria em graves incêndios em novos ataques. Deste modo, o governo japonês restringiu o uso da madeira em construções autoportantes com o intuito de proteção da população e dos recursos florestais. Vendo nessas restrições uma oportunidade de mercado, a indústria japonesa começou a produzir perfis leves de aço para a construção civil, em virtude de uma reconstrução em larga escala rápida e eficiente, tendo o aço galvanizado como uma solução ideal (Santiago; Freitas; Castro, 2012).

No Brasil, o sistema começou a ser introduzido na década de 1990, mas sua adoção ainda enfrenta desafios relacionados à aceitação cultural e à falta de mão de obra especializada (Rodrigues; Caldas, 2016).

O LSF tem sido amplamente utilizado em projetos que destacam suas vantagens em termos de sustentabilidade, rapidez e eficiência. Um exemplo é o Rio Media Center, construído para as Olimpíadas de 2016 no Rio de Janeiro, concluído em apenas 60 dias, demonstrando a

agilidade e redução de custos proporcionadas pelo LSF (Silva, 2017). Outro destaque é o condomínio Colina das Pedras, em Bragança Paulista, São Paulo, o primeiro empreendimento vertical de habitação popular feito com Steel Frame no país, onde os 13 blocos foram finalizados em 90 dias. Além disso, projetos como a Casa do Jardim, do arquiteto Luís Fábio Rezende de Araújo, mostram a versatilidade do sistema ao unir design inovador e sustentabilidade (Associação Brasileira da Construção Metálica, 2020). Esses exemplos, apresentados na Figura 3, confirmam o potencial do Steel Frame na modernização da construção civil brasileira frente aos métodos tradicionais.

Figura 3 – Exemplos de construções em LSF: a) Rio Media Center; b) Condomínio Colina das Pedras; c) Casa do Jardim.

a)



b)



c)



Fonte: ABCEM (2021).

Como aponta Santiago (2008), "a resistência inicial ao Steel Frame no Brasil está ligada à tradição da ACBC, que é vista como mais robusta e confiável". Contudo, essa percepção tem mudado gradualmente com a disseminação de informações sobre as vantagens do sistema. Em Barreiras-BA, o sistema LSF ainda é pouco utilizado, com apenas uma residência construída e, agora, este empreendimento comercial em construção, que é objeto de estudo deste trabalho.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O LSF é composto por perfis leves de aço galvanizado conformados a frio, que formam uma estrutura modular. Esses perfis são preenchidos com materiais específicos para garantir rigidez estrutural, isolamento térmico e acústico (Pires; Oliveira; Campista, 2024). De acordo com as diretrizes do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (2016), os principais componentes do sistema são apresentados na

Figura 4.

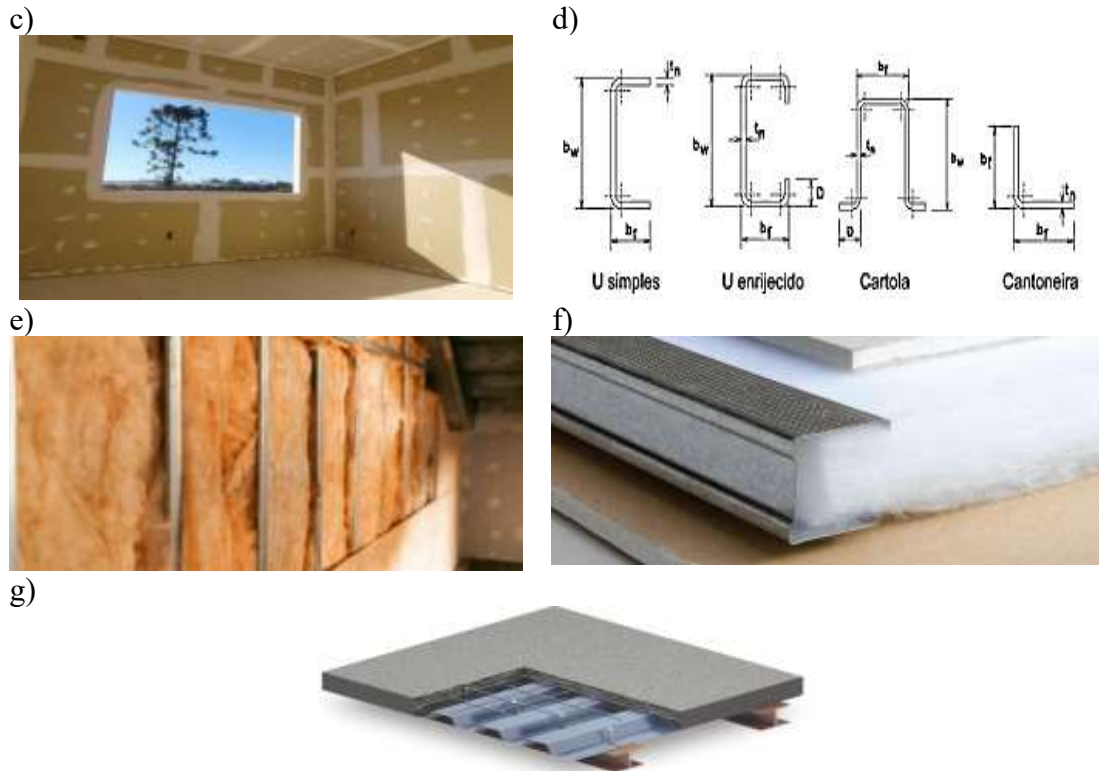
Figura 4 – Componentes do sistema LSF: a) Placas OSB, b) Placa Cimentícia, c) Drywall, d) Perfis de aço galvanizado, e) Isolantes térmicos e acústicos, f) Lã de vidro.

a)



b)





Fontes: (a, b, d) Souza (2014); (c, e, f, g) SMART (2024).

Os componentes utilizados para vedação são: as placas OSB, podem ser usadas para fechamento estrutural e aumento da rigidez; as placas cimentícias são indicadas para áreas externas ou internas sujeitas à umidade; as placas de drywall são empregadas em acabamentos internos. (Souza,2014; SMART,2024)

Os componentes responsáveis pela resistência da estrutura são os perfis de aço galvanizado:(i) Tipo Ue - U enrijecido: são usados como montantes para formação dos painéis verticais, vigas de entepiso e estruturas dos telhados;(ii) PFF do tipo Us – U simples: são estabelecidos com guias e formam painéis juntos com os montantes. (Souza,2014; SMART,2024).

Um diferencial deste método é sua função como isolantes térmicos e acústicos, utilizando a lã de vidro ou lã de rocha. Para estruturas com mais de um pavimento utiliza-se a Laje Steel Deck que é um sistema de laje mista composta pela junção de telhas de aço galvanizado com uma camada de concreto. (SMART,2024; Freitas; Castro, 2006).

Segundo Castro (2005), os materiais utilizados nesses sistemas proporcionam melhor desempenho técnico quando comparados aos métodos convencionais, destacando-se especialmente nas questões relacionadas ao conforto térmico e acústico. Além disso, a montagem é feita com parafusos e conexões específicas, dispensando argamassas e reduzindo significativamente o consumo de água durante a obra.

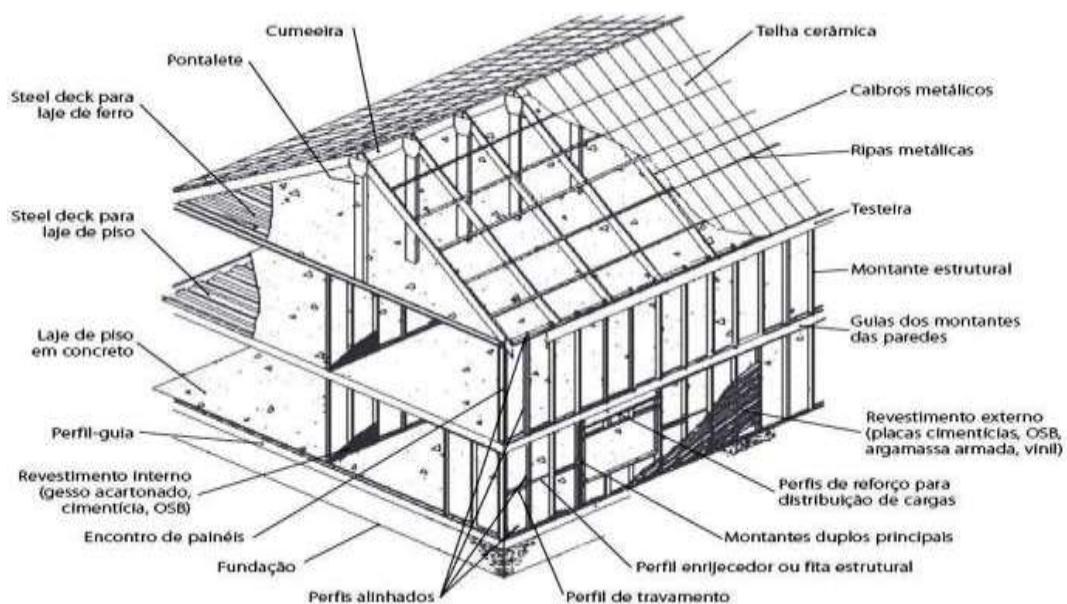
Os parafusos denominados de auto-atarraxantes constituem o meio de fixação mais utilizado no sistema LSF. Podem ser estruturais ou ter apenas função de montagem. Em uma só operação se faz o furo e fixa-se com segurança os componentes da estrutura. (*Terni; Santiago; Pianheri, 2008*).

Este sistema estrutural é composto por elementos que trabalham de forma integrada, funcionando como um “esqueleto” composto de diversos componentes individuais, que ao serem devidamente conectados formam uma estrutura eficiente e segura. Cada componente desempenha um papel essencial, e a conexão entre eles é fundamental para garantir que a estrutura suporte as cargas previstas. Garantindo o formato e a funcionalidade desejados. (*Santiago; Freitas; Castro, 2012*).

Para alcançar o desempenho esperado, é indispensável que todas as etapas do processo sejam cuidadosamente planejadas e executadas. Isso envolve desde a escolha criteriosa dos materiais até a qualificação da mão de obra responsável pela montagem. A precisão na execução é um ponto-chave, pois qualquer falha pode comprometer a integração dos subsistemas e, conseqüentemente, o resultado final. (*Lima; Horizonte, 2013*)

A combinação correta de elementos estruturais e materiais faz com que o sistema seja eficiente e durável, tornando-o uma boa opção. A Figura 5, apresenta um esquema de montagem de uma estrutura LSF.

Figura 5 – Síntese dos subsistemas componentes do LSF.



Fonte: Souza (2014).

A construção com LSF segue uma sequência lógica e bem definida, onde cada etapa contribui para a formação de uma estrutura resistente, durável e de alto desempenho. A

eficiência deste sistema está na precisão de sua montagem e na integração perfeita entre seus componentes (Kaminski, 2006).

O radier se mostra uma excelente opção de fundação para construções em Light Steel Frame (LSF). Essa solução consiste em uma laje de concreto armado que cobre toda a área da construção, distribuindo uniformemente o peso da edificação para o solo (Carvalho; Pinheiro, 2009). Uma das grandes vantagens do radier no sistema LSF é a possibilidade de incorporar antecipadamente todos os espaços necessários para as instalações hidráulicas, elétricas e de telecomunicações. Essa integração entre a fundação e as instalações potencializa a rapidez característica da montagem do LSF, um dos pontos fortes do sistema.

No entanto, para que essa sinergia seja bem-sucedida, a precisão na execução desses espaços é fundamental. A localização e as dimensões de cada elemento embutido no radier devem ser extremamente exatas, pois o sistema LSF é notavelmente intolerante a adaptações ou desalinhamentos. Deste modo, qualquer imprecisão pode gerar sérias dificuldades durante a montagem dos painéis, a instalação das tubulações e os serviços complementares, impactando diretamente o cronograma e o custo da obra. Portanto, a compatibilização perfeita dos projetos de fundação e instalações é um requisito indispensável para o sucesso do LSF com radier. (Rodrigues; Caldas, 2016).

Para compreender seu funcionamento de forma clara e objetiva, o Quadro 1 a seguir apresenta de forma organizada as etapas essenciais da montagem do LSF, seus principais componentes e as respectivas funções de cada elemento no sistema:

Quadro 1 – Etapas fundamentais da montagem do LSF.

Fase Construtiva	Elementos-Chave	Contribuição para o Sistema	Base Técnica
Preparação da Estrutura	Perfis U (guias e montantes)	Criar o esqueleto estrutural básico	Souza (2014); SMART (2024)
Fixação dos Componentes	Parafusos auto-atarraxantes, fitas estruturais	Garantir conexões seguras e estáveis	Santiago <i>et al.</i> (2012)
Vedação e Isolamento	Placas OSB, drywall, lâ mineral	Prover vedação e conforto térmico-acústico	SMART (2024); Freitas e Castro (2006)
Sistemas Integrados	Laje Steel Deck	Permitir construção vertical eficiente	Castro (2005)
Controle de Qualidade	Alinhamento preciso, mão de obra qualificada	Assegurar perfeita execução e durabilidade	Lima e Horizonte (2013)

Fonte: Autor.

2.1.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

O sistema LSF tem experimentado um crescimento significativo devido à sua eficiência e flexibilidade, mas também enfrenta desafios que precisam ser considerados (Educapes, 2023). No Quadro 2, são apresentados as principais vantagens e desvantagens do LSF.

Quadro 2 – Vantagens e Desvantagens do LSF.

Vantagens	Desvantagens
Sustentabilidade ambiental	Custo inicial elevado
Leveza estrutural	Mão de obra especializada
Eficiência energética	Aceitação cultural

Fonte: Autor.

Uma das principais vantagens do LSF é sua sustentabilidade, gerar menos resíduos, utilizando materiais recicláveis como o aço galvanizado. Segundo Freitas *et al.* (2012), isso pode reduzir os resíduos em até 70%. Além disso, o sistema consome menos água e permite uma construção mais rápida, com tempo de execução até 50% menor do que a alvenaria tradicional, como destaca Santiago (2008).

A leveza dos perfis metálicos facilita o transporte e a montagem, permitindo sua aplicação em terrenos com baixa capacidade de carga (Teixeira; Simplício, 2022). O Steel Frame também oferece excelente eficiência energética, reduzindo gastos com climatização, conforme Souza e Rodrigues (2008). Essas características tornam o Steel Frame uma escolha atraente para construções rápidas, sustentáveis e eficientes.

Apesar das vantagens deste sistema, ele ainda enfrenta desafios significativos. Um dos principais é o custo inicial elevado, pois os materiais específicos e a necessidade de mão de obra qualificada aumentam o investimento inicial, embora o custo total da obra possa ser competitivo devido à rapidez da execução (Rodrigues; Caldas, 2016). Além disso, a mão de obra especializada é essencial para a correta execução do sistema, mas a falta de capacitação técnica é um entrave para sua adoção mais ampla no Brasil, como destaca Castro (2005).

Outro desafio importante é a aceitação cultural. No Brasil, há uma preferência histórica pela ACBC, vista como símbolo de solidez e segurança, o que dificulta a popularização do Steel Frame (Freitas *et al.*, 2012). Essa resistência cultural requer esforços contínuos para educar e conscientizar sobre as vantagens do sistema, superando a percepção de que ele é menos sólido ou seguro do que as construções tradicionais.

2.1.4 NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS

No Brasil, o sistema Light Steel Frame (LSF) é regulamentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme a Norma Brasileira NBR 16970 (2022) - Sistemas construtivos em aço - Projeto, execução e requisitos, que garante a qualidade e segurança das construções. Essa norma é dividida em três partes: a primeira trata do desempenho do sistema, abordando durabilidade e conforto em edificações residenciais e comerciais (ABNT, 2022a); a segunda foca no projeto estrutural, orientando sobre

dimensionamento e segurança das estruturas de aço (ABNT, 2022b); e a terceira parte cuida das interfaces entre os elementos do sistema, como conexões e instalações (ABNT, 2022c).

Além disso, o sistema também deve atender à Norma Brasileira NBR 15575 (2013) - Edificações habitacionais - Desempenho, que estabelece critérios para edificações habitacionais (ABNT, 2013). Para uma melhor compreensão, o Quadro 3 traz uma síntese dessas normas nacionais que regulam o LSF.

Quadro 3 – Principais abordagens das normas, regulamentações e legislações nacionais apresentadas.

NBR	Descrição
NBR 16970:2022	Garante a qualidade e segurança das construções em LSF
NBR 16970:2022a	Trata do desempenho do sistema, abordando durabilidade e conforto em edificações residenciais e comerciais
NBR 16970:2022b	Foca no projeto estrutural, orientando sobre dimensionamento e segurança das estruturas de aço
NBR 16970:2022c	Cuida das interfaces entre os elementos do sistema, como conexões e instalações
NBR 15575:2021	Estabelece critérios para edificações habitacionais

Fonte: Autor.

No cenário internacional, o uso do LSF é regulamentado por normas reconhecidas, como as da American Society for Testing and Materials (ASTM) International e International Organization for Standardization (ISO), ou, em tradução literal; Sociedade Americana de Testagem e Materiais Internacional e Organização Internacional para Padronização respectivamente. A International Organization for Standardization ISO 14728 (2017) - Linear motion rolling bearings - Dynamic load ratings and rating life, fornece diretrizes fundamentais para projeto de estruturas leves em aço, abordando aspectos como estabilidade, durabilidade e desempenho estrutural. Complementarmente, a ASTM A1003:2018 estabelece requisitos técnicos específicos para chapas de aço galvanizado utilizadas em estruturas leves, incluindo parâmetros de resistência mecânica e proteção contra corrosão.

Destaca-se ainda a ISO 16883:2017, que incorpora critérios de sustentabilidade ao exigir avaliação do ciclo de vida dos materiais empregados. Essas normas são amplamente reconhecidas em âmbito global, sendo adotadas como referência em países como Estados Unidos, Canadá e Austrália, garantindo padronização técnica, segurança estrutural e interoperabilidade internacional (Davies, 2020)

No Japão, o LSF é regulado pela Japanese Industrial Standards - JIS G 3302 (Aço Galvanizado para Construção) e pelas diretrizes da Architectural Institute of Japan - AIJ para estruturas leves (AIJ, 2015). O país incorpora requisitos sísmicos rigorosos, como a Japanese Industrial Standards - JIS A 6517 para resistência a terremotos, refletindo sua expertise

em engenharia resiliente (Nakashima, 2018). Além disso, normas japonesas incentivam o uso de materiais sustentáveis em construções urbanas.

Na Europa, o sistema construtivo é regulamentado principalmente pelos Eurocódigos (Normas Europeias para Projeto de Estruturas), com destaque para o Eurocode 3 (EN 1993-1-3) - Projeto de Estruturas de Aço, que especifica requisitos para perfis de aço formados a frio, incluindo dimensionamento, resistência e durabilidade (Comité Européen de Normalisation - CEN, 2006). O Eurocode 9 (EN 1999) - Projeto de Estruturas de Alumínio aborda componentes complementares no Steel Frame. Essas normas destacam-se pelo rigor em estabilidade estrutural e eficiência energética, sendo referência global (Gardner; Nethercot, 2011).

Essas normas internacionais complementam os regulamentos brasileiros ao oferecerem diretrizes técnicas que podem ser adaptadas ao contexto local. A integração dessas referências globais com as normas nacionais fortalece o sistema LSF como uma solução capaz de atender às demandas contemporâneas por construções mais seguras, sustentáveis e eficientes. Para uma melhor compreensão o Quadro 4 abaixo traz uma síntese com as normas internacionais que regulam o LSF, destacando os seus locais de atuação.

Quadro 4 – Principais abordagens das normas, regulamentações e legislações internacionais apresentadas.

Norma	Escopo	País/Região	Referência
Eurocode 3	Dimensionamento de perfis de aço formados a frio	Europa	CEN (2006)
ISO 14728	Projeto de estruturas leves metálicas	Internacional	ISO (2017)
ISO 16883	Incorpora critérios de sustentabilidade ao exigir avaliação do ciclo de vida	Internacional	ISO (2017)
ASTM A1003	Especificações para aço galvanizado em construções leves	EUA/Global	ASTM (2018)
JIS G 3302	Padrões para aço galvanizado em estruturas	Japão	JISC (2015)
AIJ Guidelines	Requisitos para estruturas leves em zonas sísmicas	Japão	AIJ (2015)

Fonte: Autor.

2.2 ALVENARIA CONVENCIONAL DE BLOCO CERÂMICO

O processo construtivo alvenaria convencional de bloco cerâmico (ACBC) é amplamente utilizado no Brasil, caracterizado pelo uso de estruturas de fundação, como vigas e pilares em concreto, que suportam o peso da edificação, enquanto as paredes de alvenaria atuam como vedação (Cassar, 2018). Essas paredes são formadas por blocos de cerâmica assentados com argamassa.

Esse método é amplamente reconhecido por sua simplicidade e flexibilidade, sendo uma escolha comum em obras residenciais e comerciais. Como apontam Medeiros *et al.* (2023), "a

alvenaria convencional continua sendo amplamente empregada devido à disponibilidade de materiais e à familiaridade da mão de obra com a técnica".

2.2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

A alvenaria tem origem em técnicas ancestrais de empilhamento de pedras, com registros arqueológicos datando de aproximadamente 15.000 anos (Carvalho et al., 2019). No Brasil, a alvenaria estrutural transformou-se em sistema de vedação com a popularização do concreto armado no século XX (Santos, 2018).

Durante o período colonial, a alvenaria no Brasil utilizava materiais como pedra, tijolo de barro cru e taipa de pilão (Cavalheiro, 2018). Estudos históricos demonstram que a partir de meados do século XIX, o tijolo de barro cozido tornou-se predominante na construção brasileira, possibilitando edifícios mais estáveis e com maiores dimensões (Souza et al., 2021).

O Brasil mantém até hoje a alvenaria cerâmica como principal sistema de vedação em construções, especialmente no setor residencial. Pesquisas recentes mostram que mais de 65% das edificações brasileiras utilizam paredes de tijolos ou blocos associados a estruturas de concreto armado - um padrão que se consolidou nas últimas décadas (IBGE, 2023). Esse sistema misto (alvenaria + concreto) se tornou dominante por oferecer bom desempenho técnico a custos acessíveis, sendo amplamente normatizado pela ABNT NBR 15575 (2021) para garantir qualidade nas construções.

Estudos técnicos detalham que essa combinação entre alvenaria de vedação e estrutura independente de concreto representa um marco evolutivo na construção civil brasileira, equilibrando tradição e tecnologia. Esse modelo construtivo herdou características do século XX, quando a alvenaria deixou de ser estrutural para assumir funções de vedação (Silva et al., 2022)." adaptando-se às necessidades contemporâneas de flexibilidade projetual.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

A alvenaria convencional é um dos sistemas construtivos mais utilizados no Brasil, sendo amplamente reconhecida por sua simplicidade, eficiência e tradição consolidada. Esse método é caracterizado pelo uso de tijolos cerâmicos, e argamassa, unidos por ligantes como o cimento e estrutura em concreto armado (Lima et al., 2017). Esses materiais presentes na Figura 6, desempenham papéis essenciais na estrutura: os tijolos e blocos formam as paredes de vedação, enquanto a argamassa garante a estabilidade estrutural. A escolha dos materiais

utilizados depende da disponibilidade local e do tipo de projeto, como destacado por Martins (2009), que enfatiza a importância da durabilidade e resistência dos componentes.

Figura 6 – Componentes da ACBC a) Bloco cerâmico; b) Argamassa de assentamento; c) Armadura; d) Concreto



Fonte: Autor (2025).

Os blocos cerâmicos possuem rendimentos específicos por metro quadrado, sendo fundamentais para estimar a quantidade necessária de material em uma obra e evitar desperdícios. O bloco cerâmico para vedação é produzido para ser usado especificamente com furos na horizontal (ABNT NBR 15270-3:2005). Para blocos cerâmicos com dimensões de 14x19x29 cm, o rendimento médio é de 17 unidades por metro quadrado, (Sienge, 2025;

Instituto da Construção, 2023). Esses valores são úteis para calcular os insumos necessários durante o planejamento da obra.

A execução da ACBC segue etapas bem definidas. O processo começa com a marcação das paredes e o assentamento da primeira fiada. Antes do início do trabalho, a superfície deve ser limpa e umedecida para garantir melhor aderência. Após essa etapa inicial, as paredes são erguidas obedecendo ao prumo vertical e ao alinhamento horizontal. Para preencher os vãos entre a alvenaria e as vigas superiores, realiza-se o encunhamento utilizando tijolos maciços ou espuma expansiva (Salgado, 2009).

O consumo de argamassa varia conforme o tipo de serviço realizado. Para o levantamento das paredes, utiliza-se aproximadamente 16 kg/m² para blocos cerâmicos (Casa e Obra, 2024; ABCP, 2021). Já para chapisco, o consumo médio é de 5 litros/m² com traço 1:3 (cimento e areia), enquanto o reboco demanda cerca de 0,015 m³/m² com traço 1:2:6 (cimento, cal hidratada e areia fina) (Cerâmica Mônaco, 2024). Cada etapa do revestimento possui funções específicas: o chapisco aumenta a aderência entre a alvenaria e o revestimento subsequente; o emboço regulariza a superfície corrigindo imperfeições; e o reboco garante o acabamento final antes da pintura ou aplicação de outros revestimentos (Mapadaobra, 2025).

A estrutura principal da ACBC é composta por pilares e vigas de concreto armado que suportam o peso do edifício. Esses elementos estruturais são fundamentais para garantir a estabilidade da construção. No que diz respeito à produção do concreto utilizado nessas estruturas principais, destaca-se o concreto usinado com resistência característica de 25 MPa, amplamente utilizado em pilares, vigas, lajes e fundações devido à sua capacidade de suportar cargas moderadas a altas.

Em resumo, a ACBC alia tradição construtiva à flexibilidade arquitetônica. A integração entre os componentes estruturais em concreto armado e os elementos de vedação permite atender às demandas técnicas da construção civil brasileira com eficiência econômica e funcionalidade. (Cassar, 2018; Salomão, 2019).

2.2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A avaliação desse método construtivo envolve considerar diversos fatores que influenciam sua eficácia e aplicabilidade em diferentes contextos, como o custo, a durabilidade e a eficiência no uso de recursos (Ramalho, 2003). Essa análise é crucial para entender melhor como a ACBC se posiciona no mercado de construção civil. No Quadro 5, são apontadas vantagens e desvantagens deste sistema construtivo.

Quadro 5 – Vantagens e desvantagens da ACBC.

Vantagens	Desvantagens
Flexibilidade	Tempo prolongado
Facilidade de manutenção	Custo elevado
Disponibilidade de materiais	Alta geração de resíduos
Aceitação consolidada	Desperdício de materiais
Mão de obra adaptada	

Fonte: Autor.

O sistema de construção tradicional, utilizando tijolos cerâmicos, oferece várias vantagens. Segundo estudos, a flexibilidade é um dos pontos fortes, permitindo alterações no layout das paredes durante ou após a execução da obra (Ramalho; Corrêa, 2008). Além disso, a facilidade de manutenção é outro benefício, pois reparos em instalações elétricas ou hidráulicas podem ser realizados sem comprometer a estrutura (Parsekian et al., 2013).

Outras vantagens incluem a disponibilidade de materiais, que são amplamente acessíveis no Brasil (Ramalho; Corrêa, 2008), e a aceitação consolidada pelo mercado. Esse método é bem conhecido pela mão de obra e amplamente aceito em financiamentos habitacionais, o que facilita a obtenção de crédito para construções (Parsekian et al., 2013).

As técnicas de execução da ACBC são bastante difundidas em vários locais. Sendo assim, existe facilidade de encontrar mão de obra que conheça essas técnicas. Essas características tornam o sistema tradicional uma escolha segura e prática para muitos construtores e proprietários.

Este sistema de construção tradicional, apresenta algumas desvantagens significativas. Um dos principais desafios é o tempo prolongado necessário para a execução das obras, pois o processo é manual e demanda mais tempo em comparação a sistemas industrializados (Sáez et al., 2014). Além disso, o custo elevado é outro fator a ser considerado, pois a necessidade de mão de obra intensiva pode encarecer o projeto ao considerar o todo, como por exemplo a impermeabilização da estrutura, revestimentos, apesar da maioria dos materiais serem acessíveis (Brito; Perreira; Correia, 2005).

Outras desvantagens incluem a geração significativa de resíduos e o desperdício de materiais. A execução das obras envolve cortes para instalações elétricas e hidráulicas, o que gera um entulho considerável (Sáez et al., 2014). A falta de planejamento adequado pode resultar em perdas superiores a 20% dos materiais, conforme destacado por Souza *et al.* (2019).

2.2.4 NORMAS REGULAMENTADORAS

A ACBC no Brasil é regida por diversas normas técnicas que asseguram a qualidade dos materiais utilizados e a segurança dos processos construtivos. A Norma Brasileira NBR 15270-3 (2005) - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 3: Execução

e controle de obras estabelece os procedimentos para execução de alvenaria não estrutural com blocos cerâmicos, enquanto a Norma Brasileira NBR 13281 (2023) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos especifica características das argamassas utilizadas no assentamento (ABNT, 2005; 2023).

Além disso, a Norma Regulamentadora NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção regula as práticas de segurança no canteiro de obras, e a Norma Brasileira NBR 15575 (2021) - Edificações habitacionais - Desempenho estabelece os requisitos mínimos de desempenho para conforto térmico, acústico e durabilidade das edificações (ABNT, 2021). No Quadro 6, estão consolidadas as principais normas aplicáveis à ACBC e suas respectivas abordagens técnicas.

Quadro 6 – Principais abordagens das normas, regulamentações e legislações nacionais apresentadas.

NBR	Descrição
NBR 15270-3 /2005	Define métodos executivos e controles para alvenaria de vedação com blocos cerâmicos.
NBR 13281/2023	Especifica características das argamassas utilizadas no assentamento.
NR 18	Regula condições ambientais e práticas seguras na construção civil.
NBR 15575/2021	Estabelece critérios mínimos para conforto térmico/acústico e durabilidade das edificações.

Fonte: Autor.

O cumprimento dessas normas é essencial para garantir segurança estrutural, conforto aos usuários finais e sustentabilidade ambiental. Segundo Medeiros *et al.* (2023), a alvenaria convencional permanece como uma escolha predominante na construção civil brasileira devido à sua tradição consolidada e flexibilidade arquitetônica, mas enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade ambiental e eficiência produtiva.

Segundo estudos (Mass, 2017; Roberts, 2025), o futuro da ACBC depende de sua capacidade de equilibrar tradição com inovação, adotando práticas que minimizem os impactos ambientais, como a redução de resíduos e o reaproveitamento de materiais. Mass (2017) destaca os altos índices de desperdício na alvenaria convencional, enquanto Roberts (2025) Esses avanços são essenciais para que a ACBC continue relevante, adaptando-se às demandas por construções mais responsáveis e alinhadas com as exigências ambientais contemporâneas.

2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que visa mensurar os impactos ambientais de produtos ou sistemas ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até a disposição final, abordando uma perspectiva "do berço ao túmulo" (ABNT, 2009, p. 3) A Figura 7 abaixo exemplifica o ciclo de vida de uma construção.

Figura 7 – Ciclo de vida dos produtos de construção (tradução nossa).



Fonte: Adaptado de O'CONNOR; BOWICK (2014, p. 2).

No contexto da construção civil, a ACV é particularmente útil para comparar diferentes técnicas construtivas e materiais, ajudando na escolha de alternativas mais sustentáveis. Segundo estudos sobre a evolução da Análise do Ciclo de Vida (ACV), esta metodologia surgiu nos anos 1970 como ferramenta para avaliação ambiental de produtos e processos (CRAWFORD, 2008; BAUMANN; TILLMAN, 2004), sendo posteriormente padronizada pela International Organization for Standardization (ISO). Conforme demonstram esses autores, o desenvolvimento inicial da ACV esteve fortemente associado a avaliações de eficiência energética, evoluindo posteriormente para uma abordagem sistêmica que incorpora múltiplos impactos ambientais ao longo do ciclo produtivo.

A primeira norma específica, ISO 14040, foi publicada em 1997 para estabelecer os princípios e estrutura metodológica básicos da ACV. Posteriormente, em 2006, a ISO publicou a norma 14044, que complementou e detalhou os requisitos técnicos para aplicação prática da metodologia. Estas normas, adotadas no Brasil como ABNT NBR ISO 14040 e 14044, continuam sendo as referências internacionais vigentes para realização de estudos de ACV, definindo claramente suas quatro etapas fundamentais: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997, 2006).

Segundo Carminatti (2012), a ACV é uma abordagem holística que fornece uma visão global do sistema, auxiliando na análise, escolha de alternativas e tomada de decisões na construção civil. Ela determina os impactos ambientais reais e potenciais associados a um serviço ou produto, geração de resíduos, energia embutida e emissões de CO₂.

2.3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A geração de resíduos na construção civil (RCC) constitui um desafio permanente para o setor, envolvendo materiais como concreto, argamassa, metais e madeira em processos construtivos, reformas e demolições. Como demonstrado por John e Agopyan (2001), a gestão inadequada desses resíduos acarreta significativos impactos ambientais, incluindo contaminação do solo e sobrecarga de aterros. Complementando esses estudos, pesquisas como as de Pinto (2019) e Tavares (2005) evidenciam que a ausência de planejamento logístico eficiente e a limitada adoção de práticas de reciclagem intensificam o problema. Para quantificar essas perdas materiais de forma precisa, recorreu-se à TCPO (Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos), instrumento fundamental no setor da construção civil brasileira.

As perdas parciais e totais de materiais foram determinadas mediante análise integrada de diversas fontes, com destaque para a TCPO - ferramenta essencial utilizada por engenheiros e construtoras para planejamento e controle de custos. Desenvolvida pela Pini, empresa especializada em informações para o setor construtivo, a TCPO consolida mais de sete décadas de experiência e constitui referência primária para estimativas orçamentárias no país. Sua metodologia abrange mais de 8.500 composições de serviços, preços de insumos e indicadores relevantes para orçamentos detalhados (CELERE, 2023).

A tabela incorpora parâmetros fundamentais como o Índice Setorial da Construção Civil, o Custo Unitário Básico (CUB) e dados da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), permitindo cálculos precisos de custos por metro quadrado e a elaboração de composições de preços unitários (CPU) para cada etapa construtiva (CELERE, 2023). Adicionalmente, a TCPO inclui índices específicos desenvolvidos pela Pini, como os Índices PINI de Custos de Edificações e Infraestrutura, que facilitam a precificação de projetos específicos (TCPO, 2017).

Dados recentes da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON) revelam que o Brasil gerou aproximadamente 70 milhões de toneladas de RCC em 2022, com apenas 30% sendo efetivamente reciclado. Esses números evidenciam a premência na adoção de modelos de economia circular, conforme proposto por Kibert (2016), que defendem a integração de estratégias sustentáveis em todas as fases do processo construtivo. A Resolução CONAMA nº 307/2002, embora estabeleça diretrizes importantes para gestão compartilhada de resíduos, ainda enfrenta desafios na implementação, demandando maior fiscalização e conscientização setorial.

A análise das perdas materiais na construção civil identifica dois tipos principais: as perdas de matéria-prima (ocorridas antes da transformação em produto final, como desperdícios no transporte de areia) e as perdas de produto (durante a aplicação no canteiro de obras, como argamassa mal utilizada). A TCPO oferece subsídios técnicos fundamentais para quantificar essas perdas, que devem ser somadas para avaliação do impacto total. Casos específicos, como o das fôrmas de madeira serrada e compensado, apresentam perda integral (100%), configurando descarte completo após o uso. A compreensão detalhada desses processos, aliada a ferramentas como a TCPO e estudos acadêmicos de referência, possibilita a identificação de pontos críticos e a implementação de medidas eficazes para redução de desperdícios e promoção de práticas construtivas mais sustentáveis.

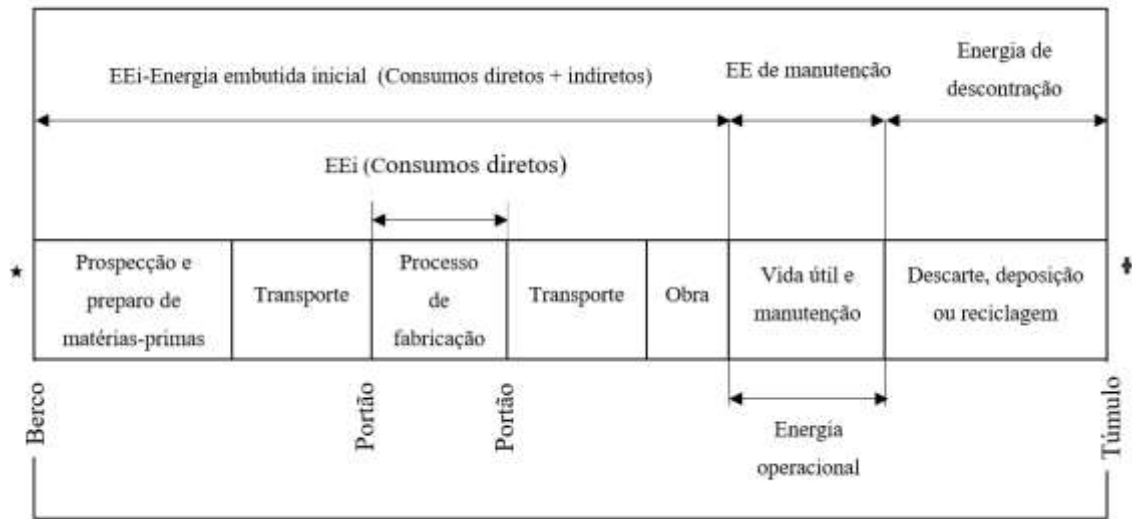
2.3.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E EMISSÕES DE CO₂

A Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) é uma avaliação que considera apenas a energia consumida durante o ciclo de vida, sendo um método auxiliar na tomada de decisões. As edificações demandam energia em todo o seu ciclo de vida, desde a produção de materiais até a operação e demolição. A ACVE pode ser um método eficaz de mensuração dos impactos de uma determinada edificação, pois considera a eficiência energética da construção, conforme Tavares (2006).

A ACVCO₂ complementa a ACVE, focando nas emissões de CO₂, principalmente originadas de fontes energéticas como a queima de combustíveis fósseis. No Brasil, o consumo energético e as emissões de CO₂ cresceram nas últimas décadas, com a construção civil sendo um dos setores que mais contribuem para essas emissões, conforme Caldas (2016).

Na Figura 9 são apresentadas as principais fases do ciclo de vida energético e emissões de CO₂ incluem a pré-operacional (energia embutida), operacional (uso e manutenção) e pós-operacional (demolição). A energia embutida inicial é o conjunto de insumos energéticos utilizados para erguer uma edificação, incluindo extração, transporte e beneficiamento das matérias-primas. A energia operacional é aquela consumida durante a vida útil da edificação, considerando iluminação, cocção, climatização, entre outros, conforme Tavares (2006).

Figura 8 – Ciclo de vida energético de uma edificação.

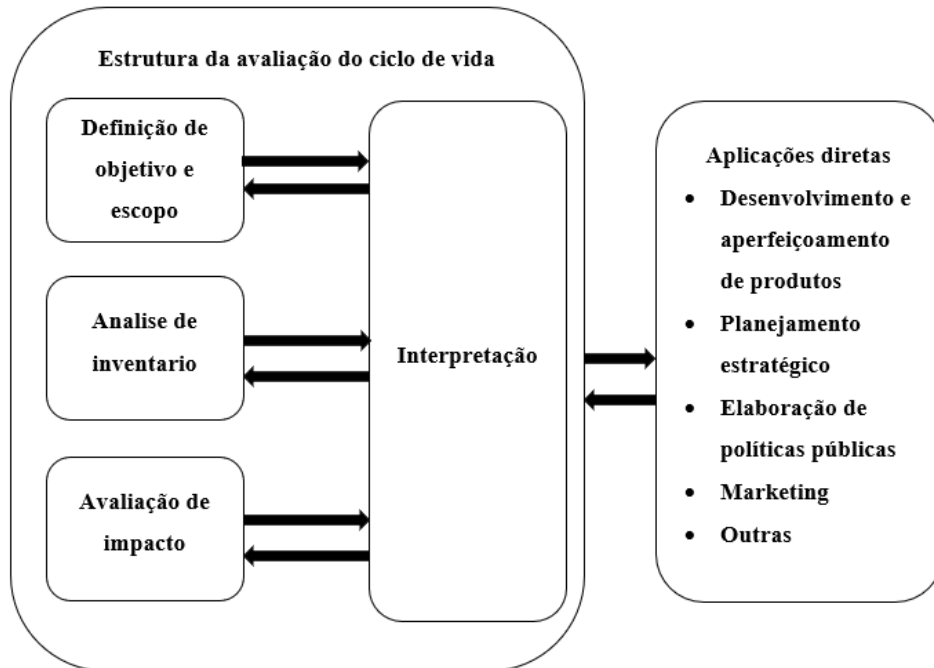


Fonte: Tavares (2006).

2.3.3 FASES DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

A ACV é dividida em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação do impacto e interpretação do ciclo de vida (Figura 9). Como destaca Crawford (2008), a ACV é uma das ferramentas mais populares para avaliar impactos ambientais ao longo de toda a vida de um produto ou processo.

Figura 9 – Fases de uma ACV.



Fonte: Adaptado da Norma ISO 14040 (2011).

1. **Definição do Objetivo e Escopo:** Nesta fase, os objetivos e o escopo são claramente definidos para evitar interpretações equivocadas. O objetivo deve ser claro, explicitando as razões motivadoras e a aplicação pretendida. O escopo define o que está incluído no sistema e os métodos de avaliação a serem utilizados, conforme a ISO 14040:2009.
2. **Análise do Inventário:** Aqui, o uso de recursos (energia e matérias-primas) e as cargas ambientais (efluentes, resíduos sólidos e emissões atmosféricas) são quantificados ao longo do ciclo de vida do produto ou sistema. Isso envolve uma intensiva coleta de dados para gerar planilhas que calculam e apresentam os fluxos existentes no objeto de estudo. Crawford (2008) destaca que a análise de inventário é uma das etapas mais cruciais da ACV.
3. **Avaliação dos Impactos:** Nesta fase, os fatores de impacto são reunidos em categorias para permitir a comparação de diferentes opções. As categorias podem ser associadas a impactos locais, regionais e globais. A avaliação envolve a seleção e definição das categorias, classificação e caracterização, visando entender a intensidade e o significado das alterações potenciais sobre o ambiente, conforme a ISO 14040:2009.
4. **Interpretação dos Resultados:** A interpretação ocorre em todas as fases da ACV e inclui a identificação dos impactos ambientais significativos, avaliação do estudo e conclusões e recomendações para implementação de melhorias. Busca-se responder às questões levantadas no escopo, conforme destacado pela ISO 14040:2009.

2.3.4 APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Degani e Cardoso (2015), no ciclo de vida de uma edificação, as etapas incluem planejamento, implantação, uso, manutenção e demolição. Cada fase interage com o meio ambiente de maneira distinta para diferentes tecnologias construtivas. A ACV é uma ferramenta importante para verificar os impactos ambientais de sistemas construtivos, permitindo análises comparativas e a escolha da alternativa com menor impacto, a ACV auxilia na identificação dos impactos ambientais significativos em cada etapa do ciclo de vida.

A construção civil é um setor que consome grandes quantidades de recursos e energia, gerando significativas emissões de gases de efeito estufa, principalmente CO₂. A queima de combustíveis fósseis, a produção de materiais de construção e o transporte são algumas das principais fontes de emissões, conforme Caldas (2016).

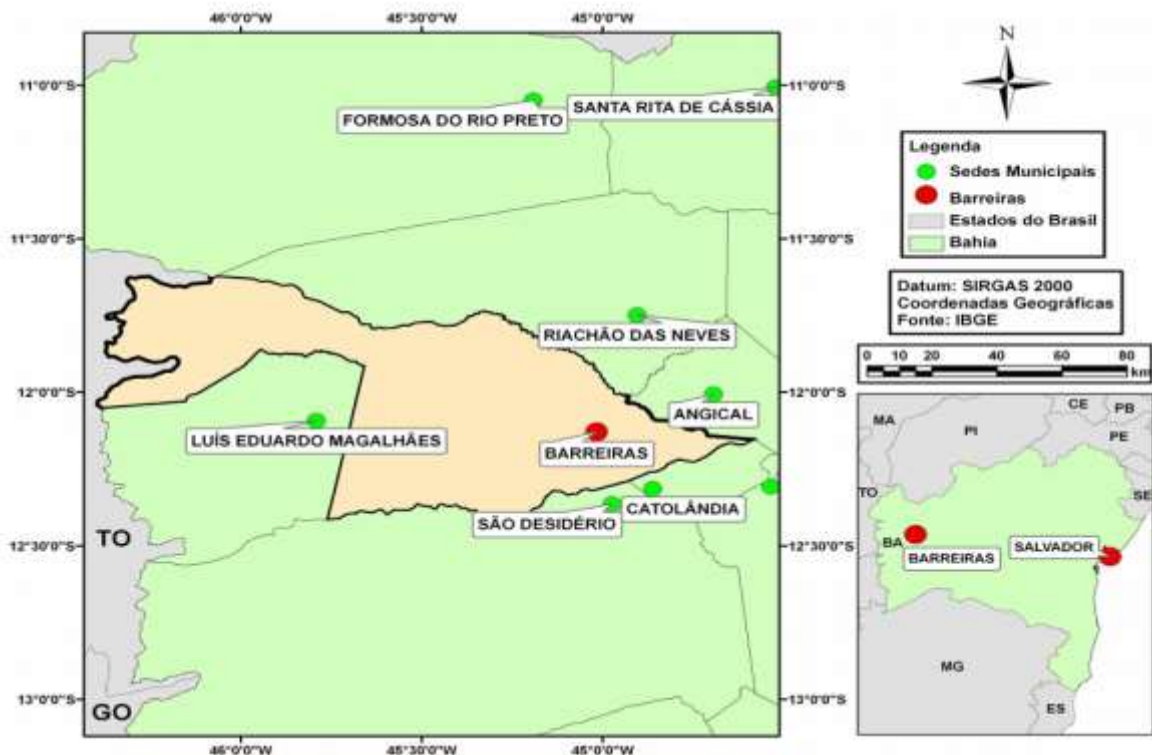
Um estudo recente de Oliveira (2022), em sua tese de doutorado na UFRJ, aplicou a ACV para comparar edifícios em madeira e alvenaria estrutural, confirmando que a

construção em madeira apresenta menor impacto ambiental devido ao sequestro de CO₂ e menor energia incorporada. Essa análise reforça a importância da ACV, como destacado por Degani e Cardoso (2015), para escolhas sustentáveis na construção civil, alinhando-se também às preocupações de Caldas (2016) sobre as emissões do setor. O trabalho evidencia o potencial de sistemas construtivos inovadores na redução da pegada de carbono das edificações.

2.4 ESTUDO DE CASO

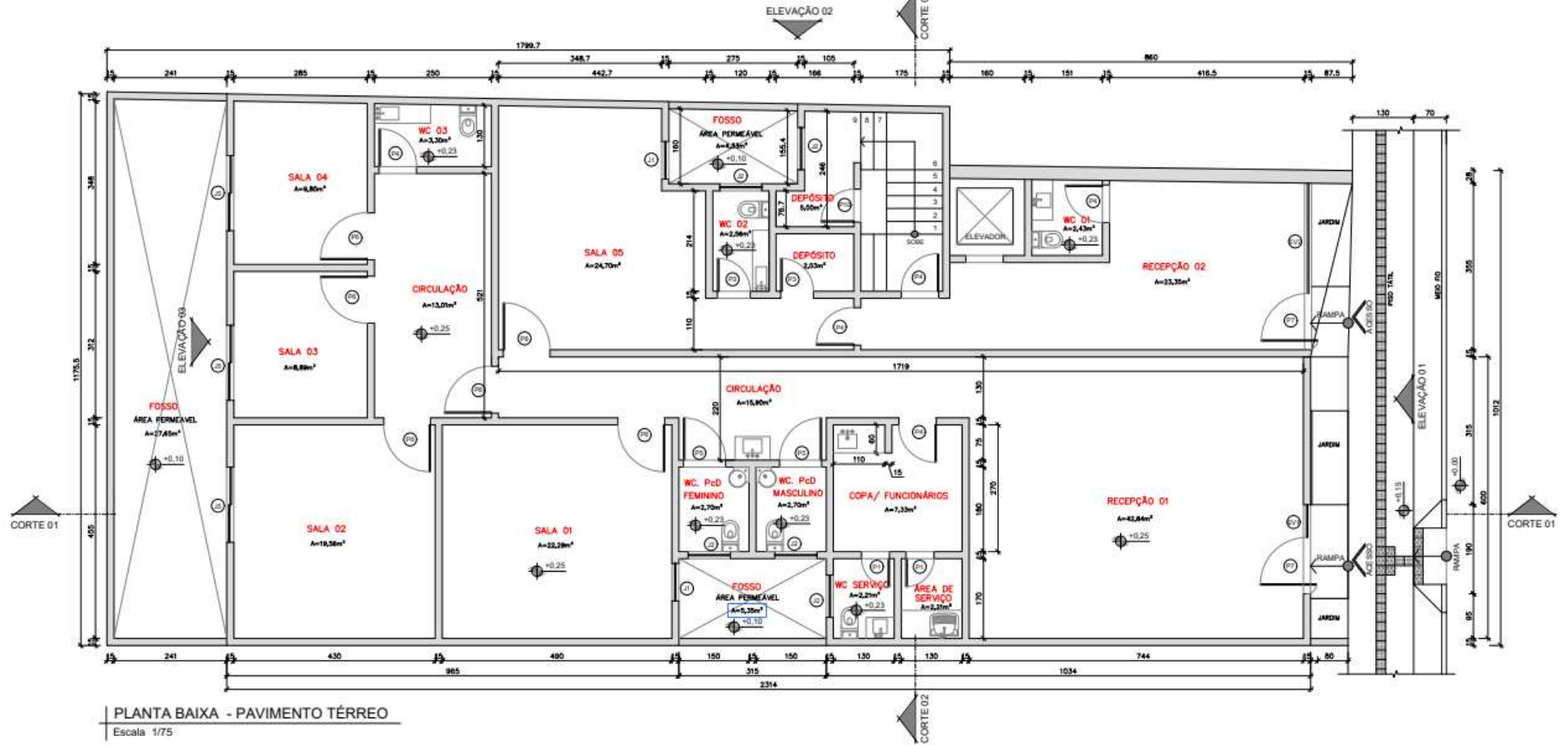
Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado como estudo de caso o projeto de uma edificação comercial com área total construída de 967,86 m², localizada em um terreno plano de 296,82 m² na cidade de Barreiras, Bahia na latitude -12.152027, e longitude -44.991670 (Figura 10). A edificação foi projetada para atender às necessidades de um empreendimento comercial e é composta por 4 pavimentos, sendo 1 pavimento térreo e 3 pavimentos tipo. O projeto inclui áreas funcionais como salas comerciais, banheiros, áreas comuns e espaços técnicos. As Figura 11 e 12 apresentam a representação da planta baixa. O método construtivo adotado foi o LSF, cuja estrutura foi projetada e será executada pela empresa SMART, vinda da cidade Ponta Grossa-PR. Serão avaliadas as etapas pré-operacionais do processo.

Figura 10 – Localização do município de Barreiras – BA.



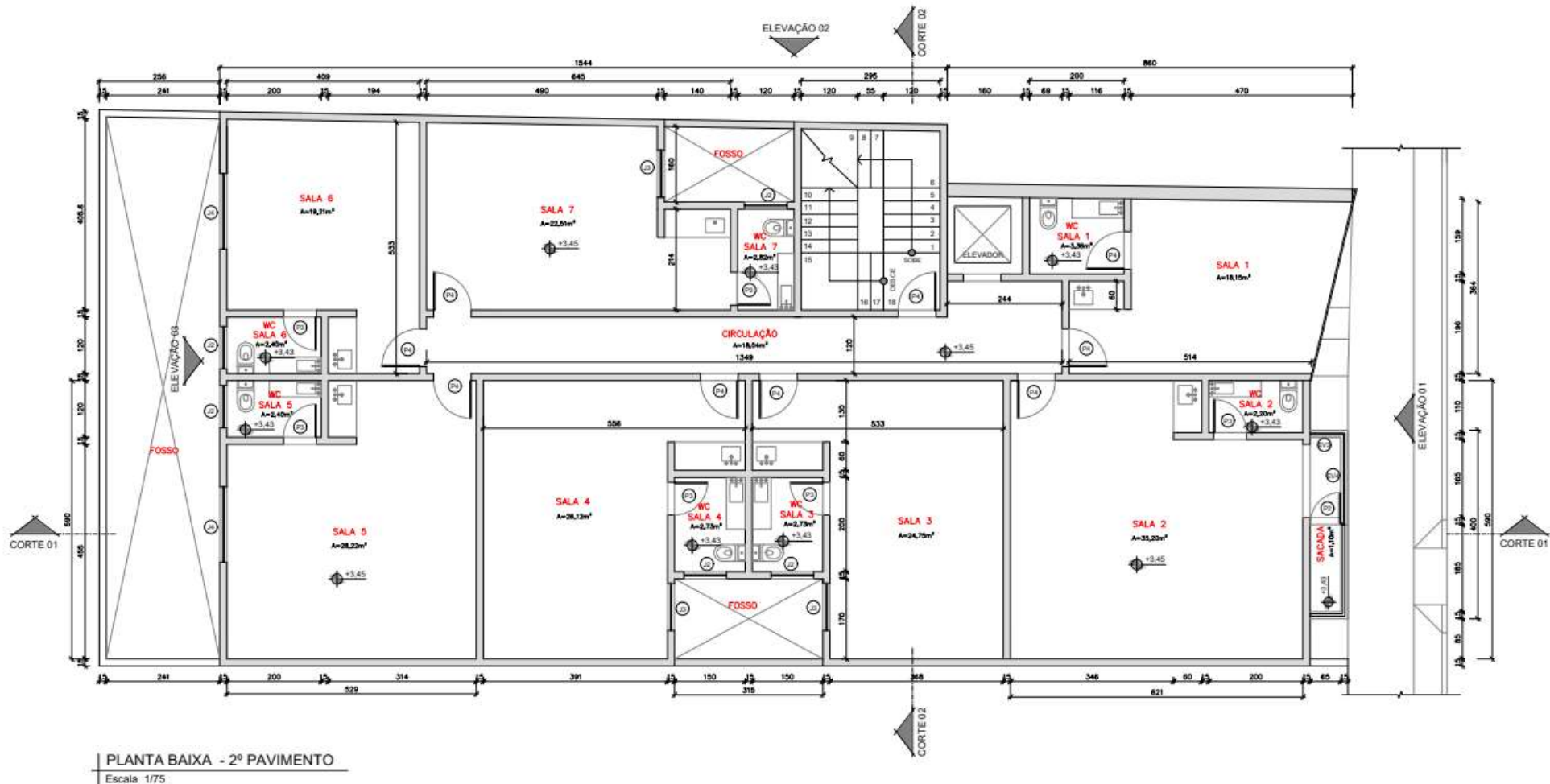
Fonte: Carvalho (2013).

Figura 11 – Planta Baixa (Pavimento Térreo).



Fonte: Caus (2024).

Figura 12 – Planta Baixa (Pavimento Tipo).



PLANTA BAIXA - 2º PAVIMENTO
Escala 1/75

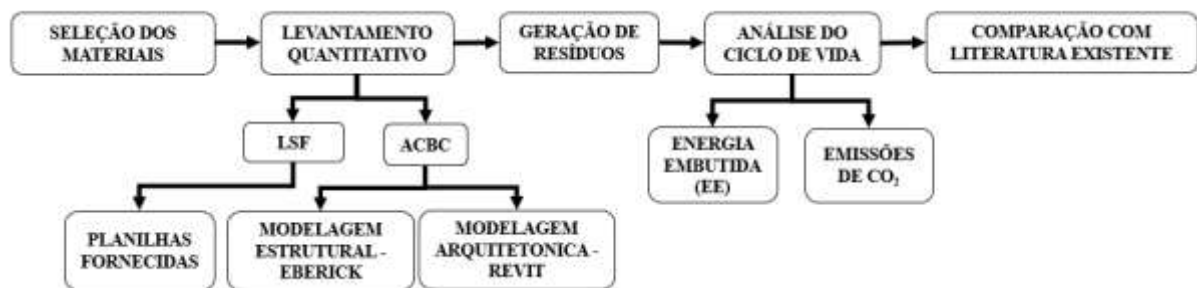
Fonte: Caus (2024).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo tem como intuito comparar os impactos ambientais dos sistemas construtivos LSF e ACBC por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), metodologia reconhecida para análises de sustentabilidade na construção civil. A pesquisa foi estruturada em cinco etapas principais (Figura 13):

- Seleção dos materiais;
- Levantamento quantitativo;
- Geração de resíduos;
- Análise do ciclo de vida;
- Comparação com literatura existente.

Figura 13 – Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Autor.

3.1 SELEÇÃO DOS MATERIAIS

Para a seleção dos materiais foram considerados alguns critérios, priorizando componentes estruturais essenciais nas etapas fundações, paredes e revestimento (chapisco e reboco) que apresentam significativa representatividade em massa na composição das edificações. Optou-se por excluir elementos como esquadrias (por não integrarem os componentes analisados) e parafusos do sistema LSF (devido à sua baixa participação relativa no peso total da estrutura). Componentes como instalações elétricas e hidráulicas, revestimentos decorativos não foram abordados, pois apresentam características semelhantes entre as técnicas estudadas. Alguns destes componentes podem ser aplicados de forma idêntica nos dois métodos construtivos, resultando na mesma quantidade de resíduos gerados.

3.2 LEVANTAMENTO QUANTITATIVO

Para o método construtivo LSF obteve-se informações das plantas, projetos, planilhas de quantitativos de materiais através das empresas Unno Engenharia (fundação) e Espaço SMART. Quanto ao método construtivo ACBC, foi realizada uma simulação para o levantamento de produtos da edificação, utilizando o software REVIT 2025 Educacional, obtendo-se o quantitativo em m² de áreas de paredes e revestimento, usando o software EBERICK 2024 Infinity obtém-se os produtos armadura, concreto e fôrmas do dimensionamento estrutural. Após o uso dos softwares, se fez o uso das tabelas de referências TCPO e SIENGE para o levantamento do quantitativo de matérias.

3.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Ambos os sistemas construtivos utilizaram os mesmos materiais em suas fundações, deste modo o quantitativo de resíduos foi realizado da mesma forma. O LSF, por ser um método de produção industrializado, já inclui a medição de resíduos em sua rotina. Os materiais e RCC são registrados nas unidades de medida comerciais do setor, mas para facilitar a análise, tudo é convertido para kg. Deste modo, a quantidade de resíduos gerados é diferença entre os materiais adquiridos e os materiais utilizados.

Nesta etapa, estimou-se o quantitativo de resíduos na construção em alvenaria convencional, organizando os dados técnicos em planilhas que detalharam três informações essenciais: a quantidade teórica necessária de cada material, o volume perdido como resíduo e o total efetivamente utilizado (soma do aplicado com as perdas). Primeiro, dividiu-se a análise por elementos construtivos (estrutura, paredes e revestimento), depois por tipo de material, com todas as medidas convertidas para quilogramas para padronização.

Para a definição dos percentuais de perda, adotou-se metodologia similar à empregada por Mass (2017), baseando-se nos seguintes critérios: quando a TCPO (2010) e Agopyan et al. (1998) apresentaram valores diferentes para as mesmas condições, calculou-se a média simples; nos casos em que uma das fontes trazia dados específicos sobre determinado material - como o estudo detalhado de Agopyan sobre perdas de cimento em argamassa - priorizou-se essa informação mais especializada, conforme o mesmo critério utilizado na pesquisa mencionada; para situações em que essas referências não apresentaram dados, manteve-se a coerência metodológica ao utilizar os valores de Tavares (2006), seguindo abordagem similar, todas essas relações são detalhadas no apêndice(Apêndice J). A Tabela 1 consolida a síntese dos índices de

perda efetivamente aplicados neste trabalho, seguindo essa metodologia que permitiu identificar com precisão os pontos críticos de geração de resíduos na construção convencional.

Tabela 1 – Índices de perda por resíduo utilizados.

Descrição	Perdas material (%)	Perdas produto (%)
Concreto	Cimento	16,5
	Areia	15
	Brita	9
Armadura	Aço	10,5
Fôrmas	Madeira serrada	15
	Compensado	15
Alvenaria de tijolo	Tijolo 9x14x19cm	15
Argamassa de assentamento	Cimento	16,5
	Areia	18,5
Chapisco	Cimento	11,8
	Areia	18,5
Reboco	Cimento	19
	Areia	18,5

Fonte: Mass (2017).

Com base nos cálculos realizados, foi elaborado uma tabela que apresenta a quantidade exata de cada material utilizado na obra e o volume transformado em resíduo, abrangendo desde a estrutura principal até as paredes.

3.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Na etapa pré-operacional de uma edificação, ocorre a extração e o processamento das matérias-primas nas fábricas, bem como o transporte dos materiais até o canteiro de obras. A energia embutida (EE) corresponde à quantidade de energia consumida em todo esse processo, desde a extração das matérias-primas, transporte até a indústria, fabricação dos materiais e, por fim, o transporte para o local da obra.

A fórmula utilizada para calcular a energia embutida considera as etapas de prospecção, fabricação e transporte dos insumos, além da produção dos materiais de construção. Nesse cálculo, são incluídas as quantidades de resíduos da construção civil (RCC) gerados por cada material.

$$EE_{mat} = \sum_{i=1}^n m_i * FE_i$$

Onde:

EE_{mat} – energia embutida na extração e processamento dos materiais (MJ);

i – material de construção discriminado;

n – número de materiais;

m – massa de RCC do material utilizado (kg);

FE_i – fator de energia dos resíduos do material discriminado (MJ/kg).

Para obter o valor do CO₂ emitido pelas fontes energéticas utilizadas na fabricação dos materiais que se tornaram resíduos, tem-se a seguinte equação:

$$EECO_2mat = \sum_{i=1}^n m_i * FCO_{2i}$$

Onde:

EECO_{2mat} – emissões de CO₂ na extração e processamento dos materiais que se tornaram resíduos (kg CO₂);

i – material de construção discriminado;

n – número de materiais;

m – massa de RCC do material utilizado (kg);

FCO_{2i} – fator de CO₂ dos resíduos material discriminado (kg CO₂/kg).

Após a obtenção dos valores de EE (MJ) e das emissões de CO₂ (kg) referentes aos resíduos gerados, os dados serão organizados em tabelas e gráficos comparativos entre o LSF e a alvenaria convencional. Esses resultados incluirão quantidades absolutas de impactos, porcentagens de contribuição de cada etapa da edificação e a relação com a proporção da massa de resíduos gerados. Além disso, foram realizados cálculos da EE e das emissões de CO₂ por quilograma de RCC e por metro quadrado das edificações.

A partir de uma síntese de informações dos estudos de Tavares e Bragança (2016), ICE v2.0 (2011); (3) Monich (2012); SAINT-GOBAIN BRASIL (2024), elaborou-se uma tabela com os fatores de CO₂ dos resíduos e o fator de energia dos resíduos de cada material (Tabela 2).

Tabela 2 – EE e emissões de CO₂ nos materiais.

Material	EE no material (MJ/kg)	KgCO₂ / Kg de material
Aço	35,00 ¹	2,73 ¹
Areia	0,50 ¹	0,03 ¹
Argamassa cimentícia	25,35 ⁴	2,13 ⁴
Brita	1,50 ¹	0,10 ¹
Cimento	4,50 ¹	0,79 ¹
Madeira compensada	8,00 ¹	0,41 ¹
Madeira serrada	2,00 ¹	0,11 ¹

Massa junta drywall	22,74 ⁴	2,05 ⁴
Gesso acartonado	6,75 ²	0,39 ²
lã de vidro	28,00 ²	1,35 ²
Painel smartside	13,11 ³	0,75 ³
Perfil de aço	35,00 ¹	2,73 ¹
Tijolo cerâmico	5,00 ¹	0,17 ¹

Fontes: ¹Tavares e Bragança (2016); ²ICE v2.0 (2011); ³Monich (2012). ⁴SAINT-GOBAIN BRASIL. (2024) Autor.

3.5 COMPARAÇÃO COM LITERATURA EXISTENTE.

Para contextualizar os resultados obtidos, foi realizada uma análise comparativa com estudos anteriores, utilizando como fontes os portais periódicos SciELO, Web of Science e Google Scholar. As palavras-chave empregadas na busca incluíram termos como "steel frame", "light steel framing", "alvenaria convencional", "bloco cerâmico", "análise comparativa", "impactos ambientais", "energia embutida", "emissões de CO₂", "resíduos de construção civil (RCC)", "metodologias de avaliação", "sustentabilidade", tanto em português quanto em inglês.

Dos inúmeros trabalhos analisados, apenas três apresentavam objetivos de pesquisa semelhantes a este estudo, realizando análises comparativas entre sistemas construtivos com foco nos mesmos parâmetros ambientais: levantamento quantitativo de resíduos, cálculo de energia embutida e avaliação de emissões de CO₂. Essas pesquisas apresentam rigor metodológico e alinhamento temático direto com os objetivos deste estudo, servindo como referência para análises comparativas no setor.

A análise comparativa desses estudos permitiu avaliar metodologias empregadas, categorias de impacto e resultados alcançados, identificando convergências, divergências e lacunas na literatura. Essa abordagem não apenas válida a relevância dos achados, mas também demonstra como a presente pesquisa contribui para o avanço do conhecimento na área, oferecendo novas perspectivas para futuras investigações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na metodologia apresentada na seção anterior, é possível chegar aos resultados apresentados e discutidos nesta seção, sendo feitas comparações entre as técnicas construtivas estudadas.

4.1 SELEÇÃO DOS MATERIAIS.

No Quadro 7 são detalhadas as etapas de aplicações, produtos e materiais no processo de construção LSF. A obra será analisada por etapas construtivas distintas de forma análoga a ACBC.

Quadro 7 – Partes da edificação em LSF escolhidos para análise.

Aplicações		Descrição		
		Produtos	Materiais	
Fundação	Mista (radier, sapata)	Concreto	Cimento	
			Areia	
			Brita	
		Armadura	Aço	
Pavimento térreo	Estrutura	Kit estrutural	Aço pesado	
	Paredes	Perfil de aço	Aço galvanizado	
		Fechamento externo	Placa gesso glasroc	
			Fechamento interno	Argamassa cimentícia
				Gesso acartonado
	Isolamento	Massa junta drywall		
Pavimentos tipo	Estrutura	Kit estrutural	Aço pesado	
	Paredes	Perfil de aço	Aço galvanizado	
		Fechamento externo	Argamassa cimentícia	
			Placa gesso glasroc	
		Fechamento interno	Gesso acartonado	
			Massa junta drywall	
	Isolamento	Lã de vidro		

Fonte: Autor.

No Quadro 8 são detalhadas as etapas de aplicações, produtos e materiais no processo de construção em ACBC. A obra será por etapas construtivas distintas: (i) fundações, considerando os sistemas estruturais de apoio e sua interação com o solo; (ii) pavimento térreo, analisando as particularidades da primeira laje e seus elementos de transição; e (iii) pavimentos tipo, examinando a repetitividade de soluções nos andares superiores.

Quadro 8 – Partes da edificação em ACBC escolhidos para análise.

Aplicações		Descrição	
		Produtos	Materiais
Fundação	Sapatas	Concreto	Cimento
			Areia
		Armadura	Brita
			Aço
Pavimento térreo	Estrutura	Concreto	Cimento
			Areia
		Armadura	Brita
			Aço
		Fôrmas	Madeira serrada
	Compensado		
	Paredes	Alvenaria	Tijolo 9x14x19cm
		Argamassa de assentamento	Cimento
			Areia
	Revestimento	Chapisco	Cimento
			Areia
		Reboco	Cimento
			Areia
Pavimentos tipo	Estrutura	Concreto	Cimento
			Areia
		Armadura	Brita
			Aço
		Fôrmas	Madeira serrada
	Compensado		
	Paredes	Alvenaria	Tijolo 9x14x19cm
		Argamassa de assentamento	Cimento
			Areia
	Revestimento	Chapisco	Cimento
			Areia
		Reboco	Cimento
			Areia

Fonte: Autor

Observando os quadros 7 e 8, nota-se que a única etapa de aplicação que se utiliza o mesmo produto e material é a fundação. As edificações em LSF não exigem fundações profundas, no entanto, como os painéis estruturais distribuem as cargas uniformemente é necessário que a fundação seja contínua, em toda a extensão dos painéis. Sendo assim, adotou-se uma fundação mista (radier, sapatas).

4.2 LEVANTAMENTO QUANTITATIVO

4.2.1 LSF

Segundo os dados fornecidos pela Unno Engenharia, responsável pelo projeto estrutural, foram obtidas as informações para o levantamento quantitativo referente às fundações. Quanto aos demais materiais utilizados na obra, a Smart Sistemas Construtivos, empresa executora do projeto, disponibilizou o quantitativo completo de insumos adquiridos para a construção da edificação. A consolidação desses dados encontra-se detalhada na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de material adquirida LSF.

	Aplicações	Descrição		Qtde adquirida (kg)
		Produtos	Materiais	
Fundação	Mista (radier, sapata)	Concreto	Cimento	24.544,35 ¹
			Areia	75.100,14 ¹
			Brita	65.875,75 ¹
		Armadura	Aço	5.520,44 ¹
Pavimento térreo	Estrutura	Kit estrutural	Aço pesado	2.445,50 ²
	Paredes	Perfil de aço	Aço galvanizado	9.340,25 ²
		Fechamento externo	Placa gesso glasroc	3.405,17 ²
			Argamassa cimentícia	1.280,00 ²
		Fechamento interno	Gesso acartonado	7.583,92 ²
			Massa junta drywall	437,50 ²
	Isolamento	Lã de vidro	406,88 ²	
Pavimentos tipo	Estrutura	Kit estrutural	Aço pesado	554,50 ²
	Paredes	Perfil de aço	Aço galvanizado	28.020,75 ²
		Fechamento externo	Argamassa cimentícia	3.840,00 ²
			Placa gesso glasroc	10.215,50 ²
		Fechamento interno	Gesso acartonado	22.751,77 ²
			Massa junta drywall	1.312,50 ²
	Isolamento	Lã de vidro	1.220,63 ²	
Total				263.855,55

Fonte: Unno Engenharia¹; Smart Sistemas Construtivos². Elaboração Própria.

4.2.2 ACBC

Para o levantamento de dados da edificação em ACBC, fez-se o uso de uma simulação da mesma edificação, a princípio por meio do software EBERICK realizou-se o dimensionamento estrutural apresentado no Apêndice F. De modo a simplificar o entendimento

todo, em relação a quantidade de aço, formas e concreto para cada etapa construtiva é apresentado nas Tabela 4.

Tabela 4 – Levantamento de materiais das estruturas em concreto armado.

Etapas	Descrição	Total
Fundação	Peso total aço (kg)	665,2
	Volume de concreto(m ³)	22,9
	Área de forma(m ²)	58,59
Pavimento térreo	Peso total aço (kg)	63824
	Volume de concreto(m ³)	38,66
	Área de forma(m ²)	118,44
Pavimentos tipo	Peso total aço (kg)	185870,88
	Volume de concreto(m ³)	87,6
	Área de forma(m ²)	1370,43

Fonte: Autor.

Nota: Pavimentos tipos se referem aos 3 pavimentos tipos da edificação.

O dimensionamento estrutural para essa edificação exige um concreto estrutural de 25MPa. Em condições ideais seria realizado o cálculo a partir de um concreto usinado, porém as concreteiras locais não fornecem informações técnicas detalhadas sobre seus traços, inviabilizando a reprodução fiel dessa dosagem em laboratório.

Como alternativa, adotou-se o concreto preparado em obra C25, controle “A”, os consumos de materiais indicados na TCPO 15 (2017), com abatimento de 50±10 mm, conforme apresentado na Tabela 5 para a etapa de fundações. A mesma metodologia de dosagem foi aplicada às demais etapas construtivas, mantendo a composição, mas ajustando os volumes necessários em cada caso, como detalhado nos Apêndices A e B. Essa abordagem garantiu controle experimental (15 corpos de prova por lote, conforme NBR 12655:2022) e permitiu comparações válidas, ainda que com limitações em relação ao cenário ideal de concreto usinado. Ressalta-se que, em uma obra real, o concreto seria fornecido por usina, com dosagem própria e certificação de resistência.

Tabela 5 – Traço do concreto 25Mpa e as quantidades totais de materiais para fundação.

Traço concreto por m³	Controle “A”	Peso específico (kg/m³)	Volume de concreto total(m³)	Total (kg)
Cimento (kg)	347	-	22,9	7946,3
Areia (m ³)	0,71	1515		24597,69
Brita (m ³)	0,60	1650		22084,53

Fonte: Autor.

Com o valor apresentado na Tabela 4, para área de fôrma é possível contabilizar a quantidade de madeira utilizada para concretagem das estruturas de concreto armado do pavimento térreo. Sendo assim, adotou-se chapas compensadas com 12mm de espessura para

montar as caixarias, incluso contraventamentos/escoramentos com pontaletes 7,5x7,5cm, conforme composição da TCPO (2010, p. 127) para apenas um aproveitamento. As quantidades de madeira fornecidas (em metro e por tipo) para 1m² de fôrma foram convertidas para o volume de madeira serrada e volume de madeira compensada, conforme detalhado na Tabela 6 para o pavimento térreo. Para os pavimentos tipo, o cálculo seguiu a mesma metodologia, com os resultados completos apresentados no Apêndice C.

Tabela 6 – Volume de madeira para fôrmas do pavimento térreo.

Descrição		Área total da seção (m ²)	Volume total de 1m (m ³)	Qtde p/ 1m ² forma(m)	Volume p/ 1m ² forma(m ³)	Área de formas total(m ²)	Volume total(m ³)
Madeira serrada	Pontalete 3x3"	0,0056	0,0056	6,0000	0,0338	118,4400	6,3691
	Sarrafo 1X3"	0,0019	0,0019	8,2500	0,0155		
	Tabua 1X8"	0,0050	0,0050	0,5200	0,0026		
	Tabua 1X6"	0,0038	0,0038	0,5000	0,0019		
Madeira compensada	Compensado 12mm	1,0000	0,0120	1,2500	0,0150	0,0150	1,7766

FONTE: (1) TCPO (2010, p.126). Elaboração própria.

Para o levantamento da alvenaria fez se o uso do software REVIT apresentado no Apêndice G, adotando o uso de tijolos cerâmicos de 6 furos, com 9x14x19cm e juntas de 1cm, para o pavimento térreo obteve-se um total de 485 m² de parede e 970 m² de revestimento internos e externos (chapisco, reboco), apresentados na Tabela 7. Para os pavimentos tipo, seguiu-se a mesma metodologia de cálculo, com os resultados detalhados no Apêndice D.

Tabela 7 – Composição paredes de vedação do pavimento térreo.

Composição alvenaria	Qtde			Área total (m ²)	Total	Qtde final
	TCPO	SIENGE	Media			
Tijolo 9x19x14cm (peça)	33,33	17	25,17	485	12205,03 und	12205,03 und
Argamassa 1:4(m ³)	0,01				4,85 m ³	
Cimento (kg)	365					1770,25 kg
Areia (m ³)	0,94					4,53 m ³

Fonte: TCPO (2010, p. 189); SIENGE. Elaboração própria.

Quanto às argamassas de revestimento, recorreu-se às composições normalizadas pela TCPO (2010), cujos traços técnicos encontram-se devidamente especificados na Tabela 8.

Tabela 8 – Traço de argamassas de revestimento.

Traço argamassas por m ²	Chapisco e=5mm 1:3 ⁽¹⁾	Reboco e=5mm 1:3 ⁽⁴⁾
Cimento (kg)	2,43	3,765
Areia (m ³)	0,0061	0,003625

Fonte TCPO (2010, p. 334(4) e 337(1)). Elaboração própria.

Concluída a etapa de definição dos traços, realizou-se o cálculo preciso dos materiais necessários para a aplicação do revestimento do pavimento térreo, considerando a área superficial total do substrato. Os valores resultantes deste dimensionamento, expressos em unidades de medida padronizadas, encontram-se devidamente discriminados na Tabela 9. A metodologia de cálculo foi igualmente aplicada aos pavimentos tipo, com seu desenvolvimento completo apresentado no Apêndice E.

Tabela 9 – Composição das argamassas de revestimento do pavimento térreo.

Traço argamassas por m ²	Chapisco e=5mm 1:3		Reboco e=5mm 1:3		TOTAL
Área (m ³)	970		970		
Cimento (kg)	2357,1		3652,05		6009,15
Areia (m ³)	5,917		3,51625		9,43325

Fonte: TCPO (2010). Elaboração própria.

O cálculo completo das quantidades de materiais para a edificação em ACBC, incluindo as considerações de consumo específico de cada produto e a composição do somatório de perdas, encontra-se detalhado no Apêndice H. O Apêndice I complementa essas informações ao apresentar todas as conversões de insumos para a unidade de massa (quilogramas), permitindo uma análise quantitativa padronizada dos materiais necessários para a execução da obra.

4.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A Tabela 10 apresenta a quantidade de material adquirida, utilizada e de resíduos gerados na obra em LSF, destacando-se os quantitativos dos materiais cimento, areia e brita na etapa de fundação, no produto concreto. A placa de gesso glasroc (25,58%) e a lã de vidro (27,06%), foram os materiais na etapa de fechamento externo e isolamento que tiveram os maiores índices de perdas proporcionais.

O quantitativo de RCC gerados no LSF foi superior a 34,66 toneladas, representando 13,14% de todo material, considerando área total construída da edificação, obtêm-se o valor médio de 35,82 kg de RCC/m².

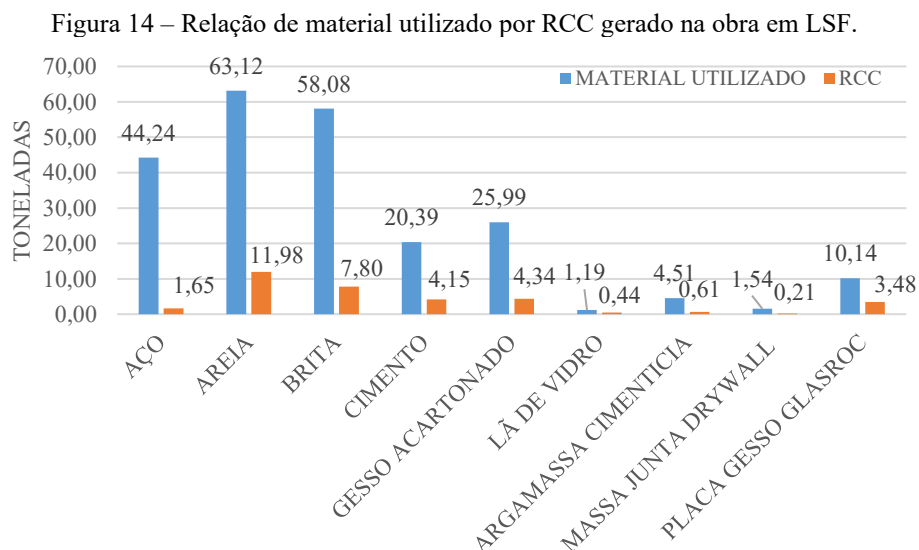
Tabela 10 – Quantidade de materiais na obra em LSF.

Etapa	Descrição	Quantidade (kg)			Perdas por RCC (%)	
		Produtos	Materiais	Adquirida Utilizada RCC		
Fundação	Concreto	Cimento	24.544,35	20.390,69	4.153,66	16,92%
		Areia	75.100,14	63.119,18	11.980,96	15,95%
		Brita	65.875,75	58.078,21	7.797,54	11,84%
	Armadura	Aço	5.520,44	4.995,87	524,57	9,50%
Pa	Kit estrutural	Aço pesado	2.445,50	2.445,50	0,00	0,00%

	Perfil de aço	Aço galvanizado	9.340,25	9.060,04	280,21	3,00%	
	Fechamento externo	Placa gesso glasroc	3.405,17	2.534,22	870,95	25,58%	
	Fechamento interno	Argamassa cimentícia	1.280,00	1.126,40	153,60	12,00%	
		Gesso acartonado	7.583,92	6.498,00	1.085,92	14,32%	
		Massa junta drywall	437,50	385,00	52,50	12,00%	
	Isolamento	Lã de vidro	406,88	296,76	110,12	27,06%	
Pavimentos tipo	Kit estrutural	Aço pesado	554,50	554,50	0,00	0,00%	
	Perfil de aço	Aço galvanizado	28.020,75	27.180,13	840,62	3,00%	
	Fechamento externo	Argamassa cimentícia	3.840,00	3.379,20	460,80	12,00%	
		Placa gesso glasroc	10.215,50	7.602,66	2.612,84	25,58%	
	Fechamento interno	Gesso acartonado	22.751,77	19.494,00	3.257,77	14,32%	
		Massa junta drywall	1.312,50	1.155,00	157,50	12,00%	
	Isolamento	Lã de vidro	1.220,63	890,28	330,35	27,06%	
		Total		263.855,55	229.185,65	34.669,90	13,14%

Fonte: Autor.

A Figura 14 compara a quantidade de material utilizado na obra com o volume de RCC gerado para cada insumo, evidenciando a eficiência de utilização e os índices de perdas associadas. Verifica-se que os materiais areia e brita destacam-se pela elevada quantidade consumida, com 63,1 e 58,08 toneladas, respectivamente. Entretanto, as perdas associadas a esses materiais também são expressivas, principalmente para a areia, com 11,98 toneladas de RCC, indicando a necessidade de melhorias nos processos de armazenamento, transporte e manuseio no canteiro.



Fonte: Autor.

Outro insumo de relevância é o cimento, que apresenta 20,39 toneladas de utilização, acompanhado de 4,15 toneladas de perdas. Esse dado reforça a tendência já observada na Figura

14, demonstrando que o cimento é um material crítico em relação ao desperdício, demandando atenção quanto às práticas de preparo e estocagem. O gesso acartonado merece destaque pelo elevado volume de descarte proporcional à sua utilização, com 4,34 toneladas de perdas para 25,99 de consumo, refletindo sua fragilidade no manuseio e a dificuldade de reaproveitamento em obra.

Os demais materiais, apesar de apresentarem menor representatividade no consumo total, apresentam valores relevantes de RCC incluem a placa de gesso Glasroc (10,14 toneladas de utilização com 3,48 toneladas de perdas) e a lã de vidro, com 25,99 toneladas de uso e 1,19 toneladas de RCC, evidenciando a necessidade de atenção ao descarte e manejo adequado desses insumos, principalmente pela sua natureza não reciclável e potenciais impactos ambientais. Materiais como argamassa cimentícia, massa junta drywall e aço apresentaram baixos percentuais de perdas em relação ao volume utilizado, destacando-se pela maior eficiência de aproveitamento, o que indica boas práticas de execução e controle de resíduos.

A Tabela 11, apresenta os resultados estimados para o método ACBC, destacando o quantitativo total de 194,23 toneladas que representou 17,56% de RCC. Os principais materiais usados, foram a areia, o aço e o cimento, gerando um total de 45,84, 26,28 e 25,59 toneladas de RCC, respectivamente, representando um total de 50,31%. As fôrmas em madeira foram 100% descartadas após o uso.

Tabela 11 – Quantidade de materiais na obra em ACBC.

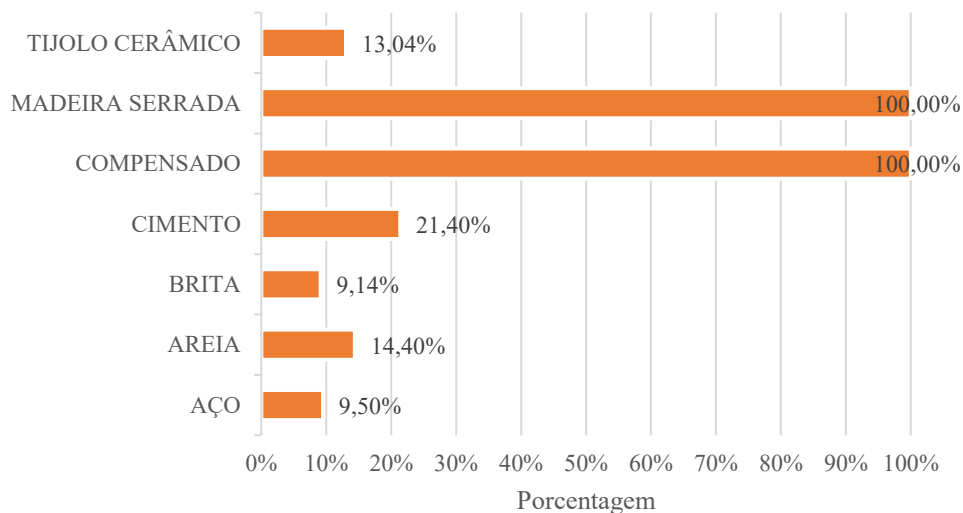
Etapa	Descrição		Quantidade(kg)			Perda por RCC (%)
	Produtos	Materiais	Adquirida	Utilizada	RCC	
Fundação	Concreto	Cimento	10.512,95	8.582,00	1.930,95	18,37%
		Areia	27.157,14	22.443,92	4.713,22	17,36%
		Brita	33.272,64	28.932,73	4.339,91	13,04%
	Armadura	Aço	735,05	665,20	69,85	9,50%
	Concreto	Cimento	17.748,07	14.488,22	3.259,85	18,37%
		Areia	51.575,37	44.848,14	6.727,22	13,04%
Brita		44.980,35	41.266,38	3.713,97	8,26%	
Armadura	Aço	70.525,52	63.824,00	6.701,52	9,50%	
Pavimento térreo	Fôrmas	Madeira serrada	3.821,47	3.821,47	3.821,47	100,00%
		Compensado	977,13	977,13	977,13	100,00%
	Alvenaria	Tijolo 9x14x19cm	30.878,71	26.851,06	4.027,66	13,04%
	Argamassa de assentamento	Cimento	2.487,20	1.770,25	716,95	28,83%
		Areia	8.141,12	6.870,15	1.270,98	15,61%
	Chapisco	Cimento	3.130,23	2.357,10	773,13	24,70%
		Areia	10.622,64	8.964,26	1.658,39	15,61%
	Reboco	Cimento	4.820,71	3.652,05	1.168,66	24,24%
		Areia	6.312,64	5.327,12	985,52	15,61%

Pavimentos tipo	Concreto	Cimento	40.215,50	32.828,98	7.386,52	18,37%
		Areia	116.865,03	101.621,76	15.243,26	13,04%
		Brita	101.921,34	93.505,82	8.415,52	8,26%
	Armadura	Aço	205.387,32	185.870,88	19.516,44	9,50%
	Fôrmas	Madeira serrada	44.216,92	44.216,92	44.216,92	100,00%
		Compensado	11.306,05	11.306,05	11.306,05	100,00%
	Alvenaria	Tijolo 9x14x19cm	120.291,71	104.601,49	15.690,22	13,04%
	Argamassa de assentamento	Cimento	9.687,26	6.894,85	2.792,41	28,83%
		Areia	31.708,42	26.758,16	4.950,26	15,61%
	Chapisco	Cimento	12.191,76	9.180,54	3.011,22	24,70%
		Areia	41.373,55	34.914,39	6.459,16	15,61%
	Reboco	Cimento	18.775,90	14.224,17	4.551,73	24,24%
Areia		24.586,74	20.748,30	3.838,44	15,61%	
Total		1.106.226,44	972.313,47	194.234,53	17,56%	

Fonte: Autor.

A Figura 15 demonstra os índices de perdas materiais no sistema ACBC. Observa-se que os materiais, madeira serrada e compensado apresentam taxas de descarte integral (100%), característica intrínseca ao seu processo de utilização na construção civil. Destaca-se ainda o cimento como terceiro material com maior índice de desperdício (21,40%), fato que evidencia a necessidade de aprimoramento nas práticas de armazenamento e aplicação deste insumo.

Figura 15 – Porcentagem de perdas por RCC na obra em ACBC por material.

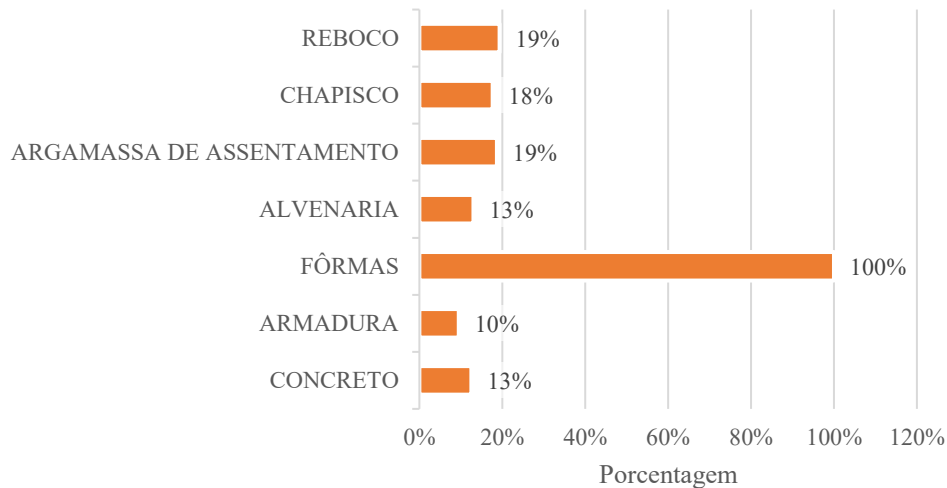


Fonte: Autor.

A Figura 16 analisa especificamente as perdas por produto construtivo. Constata-se que os sistemas de formas - constituídos essencialmente pelos materiais madeira serrada e compensado - igualmente apresentam descarte total após a desforma. Dentre os demais componentes analisados, as argamassas (assentamento e reboco) registram índices de perda

equivalentes a 19% cada, enquanto o chapisco e a alvenaria apresentam, respectivamente, 18% e 13% de desperdício, valores estes que representam parcelas significativas no volume total de RCC gerados no processo construtivo.

Figura 16 – Porcentagem de perdas por RCC na obra em ACBC por produto.



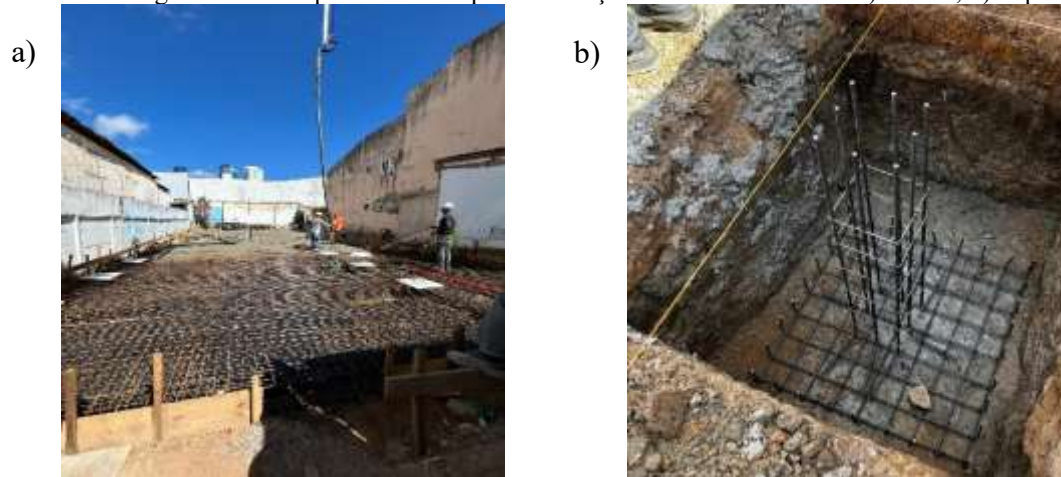
Fonte: Autor.

Comparando os métodos ACBC com o LSF, verifica-se que é necessária uma proporção de 4,2 vezes maior de utilização de materiais, conseqüentemente gerando mais RCC, na ordem de 5,6 vezes em termo de massa. Os resultados demonstram uma diferença significativa na utilização de materiais e geração de RCC entre os dois métodos construtivos, expressando uma clara vantagem ambiental do método LSF. Isso é resultado de projetos com maior compatibilidade, associados ao processo industrializado, minimizando desperdícios.

A similaridade das fundações em ambos os métodos construtivos possibilita uma análise comparativa isolada desta etapa, permitindo avaliar com precisão as diferenças inerentes a cada sistema, conforme apresenta-se na Figura 17. Embora o sistema LSF promova uma redução geral de resíduos na construção, sua etapa de fundação apresenta 58,64% maior consumo de materiais e 54,80% maior geração de RCC em comparação à ACBC, devido à predominância do radier como solução estrutural.

O radier exige maior volume de concreto para distribuir adequadamente as cargas da estrutura leve. Apesar do maior impacto inicial em recursos e resíduos, a escolha do radier é estratégica, pois garante estabilidade e minimiza recalques diferenciais, assegurando a viabilidade técnica em solos problemáticos e compensando, em parte, o custo ambiental inicial com ganhos em desempenho estrutural (RINCON, 2016).

Figura 17 – Comparativo na etapa de fundação entre LSF e ACBC: a) Radier; b) Sapata.



Fonte: Autor (2025).

4.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA(ACV)

A Tabela 12 apresenta uma análise comparativa da EE entre os sistemas LSF e ACBC, detalhando os valores por material e etapa construtiva. No sistema LSF, observa-se que o aço é o principal responsável pelo consumo energético, contribuindo com 57,58 GJ (28,66% do total), enquanto o consumo energético total da edificação atingiu 201,64 GJ, equivalente a 0,21 GJ/m².

O ACBC apresentou um consumo total de 1.375,79 GJ (1,42 GJ/m²), sendo o aço novamente o material com maior participação (920,07 GJ, correspondendo a 66,88% do total). Esta comparação revela uma vantagem expressiva do sistema LSF, que demonstrou uma redução de 85,34% no consumo energético em relação ao ACBC.

Os dados comprovam que o sistema LSF oferece vantagens ambientais quantificáveis, especialmente no que tange à redução de resíduos e consumo energético, com destaque para a menor dependência de materiais de alta energia embutida como cimento e aço estrutural. A exceção notável são os componentes específicos do LSF como placas de gesso e lã de vidro, que, embora apresentem valores absolutos menores, possuem coeficientes energéticos consideráveis (13,11 MJ/kg para placa gesso glasroc e 28,00 MJ/kg para lã de vidro).

Esta análise evidencia que a escolha do sistema construtivo impacta diretamente tanto na geração de resíduos quanto no desempenho ambiental da edificação. Os resultados demonstram claramente as diferenças de desempenho entre os dois sistemas, com o LSF se mostrando uma alternativa mais sustentável em termos de energia embutida e gestão de resíduos, aspectos cruciais para a construção civil contemporânea que busca reduzir seu impacto ambiental.

Tabela 12 – Energia embutida nos resíduos da obra de LSF e ACBC, por parte da edificação.

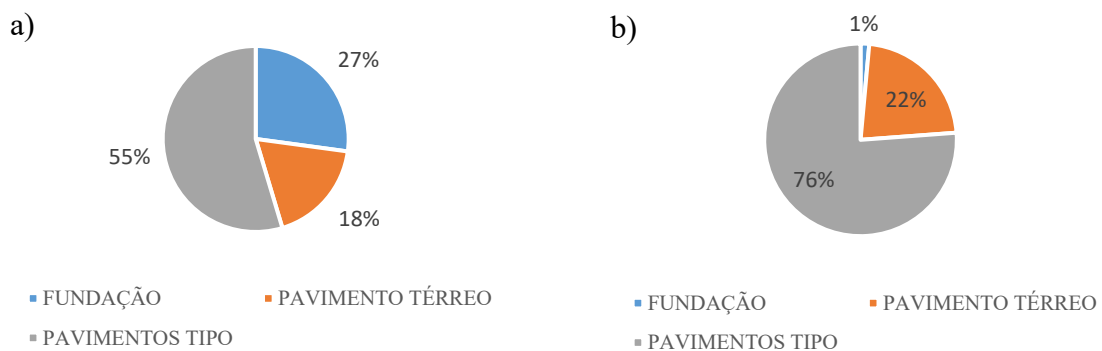
Etapas	Materiais	RCC (kg)		EE mat. (MJ/kg)	EE(MJ)	
		LSF	ACBC		LSF	ACBC
Fundação	Cimento	4.153,66	1.930,95	4,50	18.691,47	8.689,28
	Areia	11.980,96	4.713,22	0,50	5.990,48	2.356,61
	Brita	7.797,54	4.339,91	1,50	11.696,31	6.509,86
	Aço	524,57	69,85	35,00	18.359,83	2.444,61
Pavimento térreo	Cimento	-	3.259,85	4,50	-	14.669,32
	Areia	-	6.727,22	0,50	-	3.363,61
	Brita	-	3.713,97	1,50	-	5.570,96
	Aço	-	6.701,52	35,00	-	234.553,20
	Madeira serrada	-	3.821,47	2,00	-	7.642,93
	Compensado	-	977,13	8,00	-	7.817,04
	Tijolo 9x14x19cm	-	4.027,66	5,00	-	20.138,29
	Cimento	-	716,95	4,50	-	3.226,28
	Areia	-	1.270,98	0,50	-	635,49
	Cimento	-	773,13	4,50	-	3.479,08
	Areia	-	1.658,39	0,50	-	829,19
	Cimento	-	1.168,66	4,50	-	5.258,95
	Areia	-	985,52	0,50	-	492,76
	Aço pesado	0,00	-	35,00	0,00	-
	Aço galvanizado	280,21	-	35,00	9.807,26	-
	Placa gesso glasroc	870,95	-	13,11	11.418,13	-
	Argamassa cimentícia	153,60	-	25,35	3.893,76	-
	Gesso acartonado	1.085,92	-	6,75	7.329,99	-
	Massa junta drywall	52,50	-	22,74	1.193,85	-
	Lã de vidro	110,12	-	28,00	3.083,22	-
Pavimentos tipo	Cimento	-	7.386,52	4,50	-	33.239,34
	Areia	-	15.243,26	0,50	-	7.621,63
	Brita	-	8.415,52	1,50	-	12.623,29
	Aço	-	19.516,44	35,00	-	683.075,48
	Madeira serrada	-	44.216,92	2,00	-	88.433,85
	Compensado	-	11.306,05	8,00	-	90.448,38
	Tijolo 9x14x19cm	-	15.690,22	5,00	-	78.451,11
	Cimento	-	2.792,41	4,50	-	12.565,86
	Areia	-	4.950,26	0,50	-	2.475,13
	Cimento	-	3.011,22	4,50	-	13.550,48
	Areia	-	6.459,16	0,50	-	3.229,58

Cimento	-	4.551,73	4,50	-	20.482,80
Areia	-	3.838,44	0,50	-	1.919,22
Aço pesado	0,00	-	35,00	0,00	-
Aço galvanizado	840,62	-	35,00	29.421,79	-
Placa gesso glasroc	460,80	-	13,11	6.041,09	-
Argamassa cimentícia	2.612,84	-	25,35	66.235,60	-
Gesso acartonado	3.257,77	-	6,75	21.989,98	-
Massa junta drywall	157,50	-	22,74	3.581,55	-
Lã de vidro	330,35	-	28,00	9.249,66	-
Total	34.669,90	194.234,53		201.642,94	1.375.793,64

Fonte: Autor.

A análise por etapa construtiva demonstra que os pavimentos tipo são os maiores responsáveis pelo percentual de energia embutida em ambos os métodos construtivos, devido principalmente ao uso expressivo de aço em sua composição - material reconhecido por seu alto coeficiente de consumo energético. Essa relação fica evidente na Figura 18, que mostra de maneira clara como os pavimentos tipo se destacam no balanço energético geral da construção, superando significativamente as demais etapas no que diz respeito ao impacto energético.

Figura 18 – Relação de consumo de EE por etapa construtiva: a) LSF b) ACBC.



Fonte: Autor.

A Tabela 13 apresenta uma análise comparativa das emissões de CO₂ entre os sistemas LSF e ACBC, detalhando os valores por material e etapa construtiva. Como informação complementar, a tabela também inclui dados sobre os RCC, que ajudam a contextualizar o impacto ambiental de cada sistema. Esta análise demonstra claramente como a escolha dos materiais e métodos construtivos influencia significativamente a pegada de carbono da edificação.

Tabela 13 – Emissões de CO₂ nos resíduos da obra de LSF e ACBC, por parte da edificação.

Etapas	Materiais	RCC		KgCO ₂ /kg	KgCO ₂	
		LSF	ACBC		LSF	ACBC
Fundação	Cimento	4.153,66	1.930,95	0,79	3.281,39	1.525,45
	Areia	11.980,96	4.713,22	0,03	359,43	141,40
	Brita	7.797,54	4.339,91	0,10	779,75	433,99
	Aço	524,57	69,85	2,73	1.432,07	190,68
Pavimento térreo	Cimento	-	3.259,85	0,79	-	2.575,28
	Areia	-	6.727,22	0,03	-	201,82
	Brita	-	3.713,97	0,10	-	371,40
	Aço	-	6.701,52	2,73	-	18.295,15
	Madeira serrada	-	3.821,47	0,11	-	420,36
	Compensado	-	977,13	0,41	-	400,62
	Tijolo 9x14x19cm	-	4.027,66	0,17	-	684,70
	Cimento	-	716,95	0,79	-	566,39
	Areia	-	1.270,98	0,03	-	38,13
	Cimento	-	773,13	0,79	-	610,77
	Areia	-	1.658,39	0,03	-	49,75
	Cimento	-	1.168,66	0,79	-	923,24
	Areia	-	985,52	0,03	-	29,57
	Aço pesado	0,00	-	2,73	0,00	-
	Aço galvanizado	280,21	-	2,73	764,97	-
	Placa gesso glasroc	870,95	-	0,75	653,21	-
	Argamassa cimentícia	153,60	-	2,13	327,17	-
	Gesso acartonado	1.085,92	-	0,39	423,51	-
	Massa junta drywall	52,50	-	2,05	107,63	-
	Lã de vidro	110,12	-	1,35	148,66	-
Pavimentos tipo	Cimento	-	7.386,52	0,79	-	5.835,35
	Areia	-	15.243,26	0,03	-	457,30
	Brita	-	8.415,52	0,10	-	841,55
	Aço	-	19.516,44	2,73	-	53.279,89
	Madeira serrada	-	44.216,92	0,11	-	4.863,86
	Compensado	-	11.306,05	0,41	-	4.635,48
	Tijolo 9x14x19cm	-	15.690,22	0,17	-	2.667,34
	Cimento	-	2.792,41	0,79	-	2.206,01
	Areia	-	4.950,26	0,03	-	148,51
	Cimento	-	3.011,22	0,79	-	2.378,86
	Areia	-	6.459,16	0,03	-	193,77
	Cimento	-	4.551,73	0,79	-	3.595,87
	Areia	-	3.838,44	0,03	-	115,15
	Aço pesado	0,00	-	2,73	0,00	-
	Aço galvanizado	840,62	-	2,73	2.294,90	-
	Placa gesso glasroc	2.612,84	-	0,75	1.959,63	-
	Argamassa cimentícia	460,80	-	2,13	981,50	-

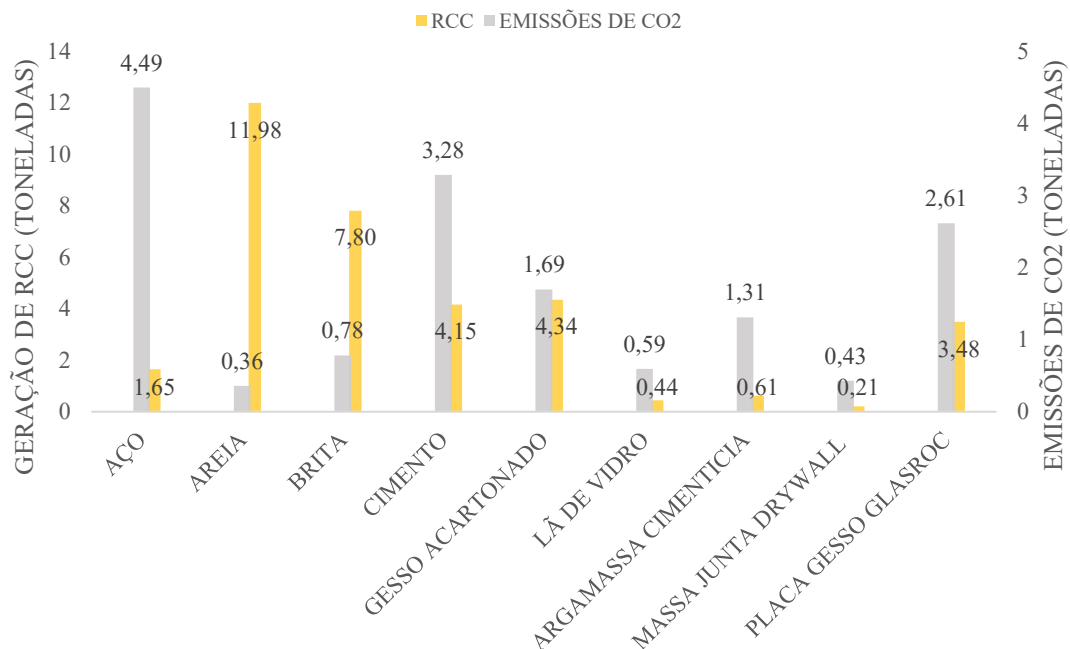
Gesso acartonado	3.257,77	-	0,39	1.270,53	-
Massa junta drywall	157,50	-	2,05	322,88	-
Lã de vidro	330,35	-	1,35	445,97	-
Total	34.669,90	194.234,53		15.553,19	108.677,64

Fonte: Autor.

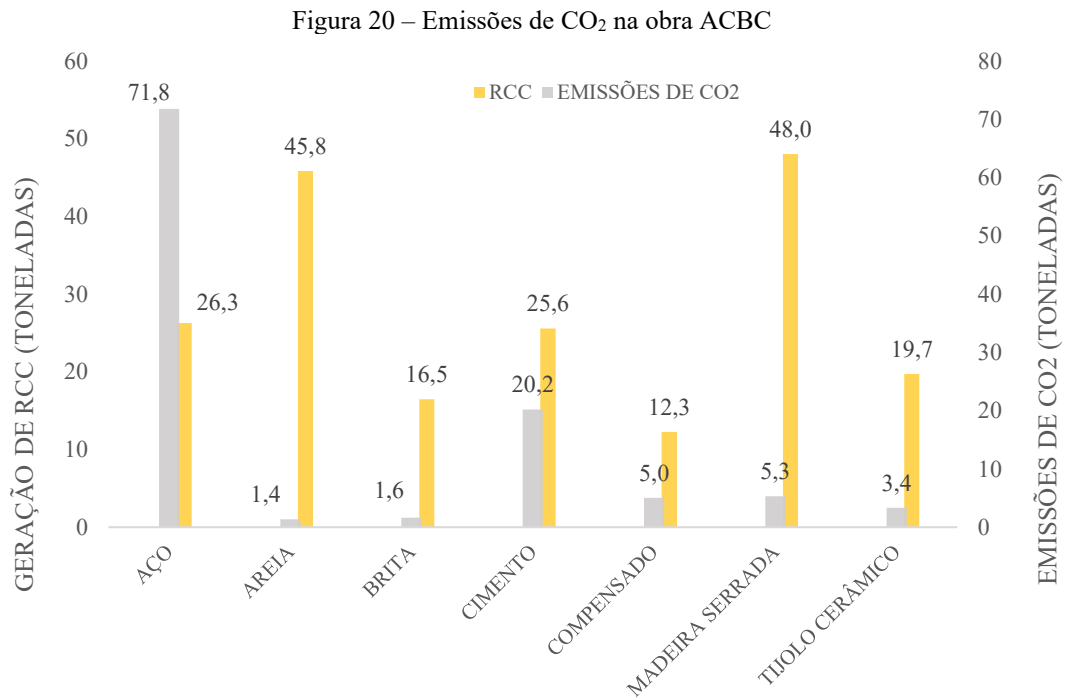
A Figura 19 detalha especificamente as emissões de CO₂ para cada material no sistema LSF. Os resultados revelam que o aço, apesar de representar uma parcela menor nos resíduos gerados, é responsável por 28,88% do total das emissões, alcançando 15.533,19 kg de CO₂ na obra analisada, o que equivale a 16,07 kgCO₂/m². Este dado destaca a importância de considerar não apenas o volume de resíduos, mas principalmente o potencial de emissão de cada material utilizado.

No sistema ACBC, conforme mostra a Figura 20, o aço assume proporções ainda mais expressivas nas emissões. Neste método, o material responde por cerca de 66% das emissões totais (71.765,72 kgCO₂), em um cenário onde a construção como um todo emite 108.677,64 kgCO₂, correspondendo a 112,28 kgCO₂/m². Esta diferença significativa em relação ao sistema LSF evidencia o impacto desproporcional que certos materiais podem ter no balanço ambiental de uma obra.

Figura 19 – Emissões de CO₂ na obra em LSF.



Fonte: Autor.

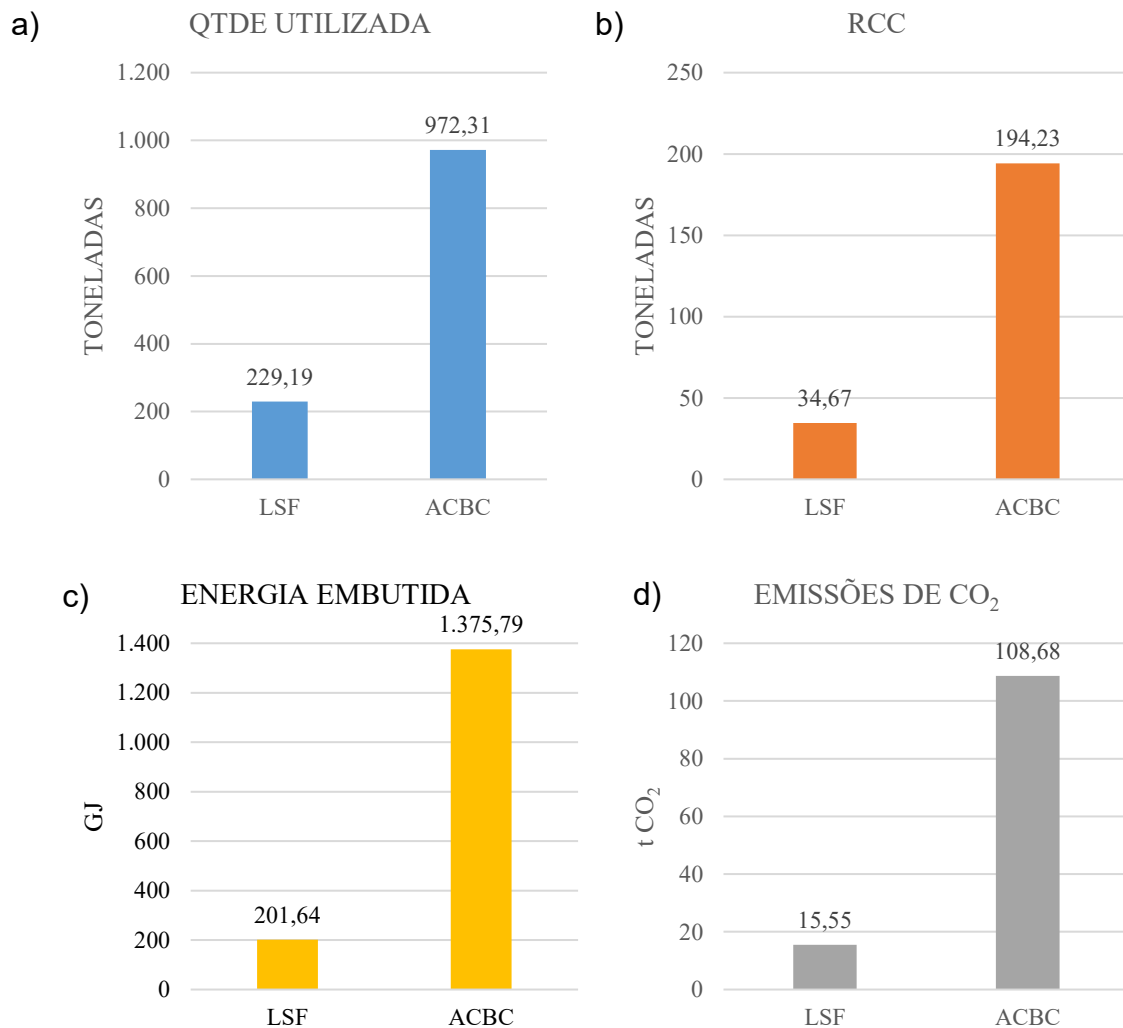


Fonte: Autor.

A comparação direta entre os sistemas revela uma redução impressionante de 85,68% nas emissões quando se opta pelo LSF. Esta vantagem ambiental se explica principalmente pela menor demanda por materiais e pela expressiva redução na geração de resíduos, que no LSF é 5,6 vezes menor que no método convencional.

A Figura 21 resume de forma individual e comparando o desempenho ambiental dos sistemas construtivos analisados. A quantidade de materiais utilizados é apresentada de forma clara e direta em termos de RCC, EE e Emissões de CO₂, destacando as diferenças entre os métodos avaliados (LSF e ACBC).

Figura 21 – Comparativo do LSF e ACBC: a) Quantidade utilizada; b) RCC; c) EE; d) Emissões de CO₂.



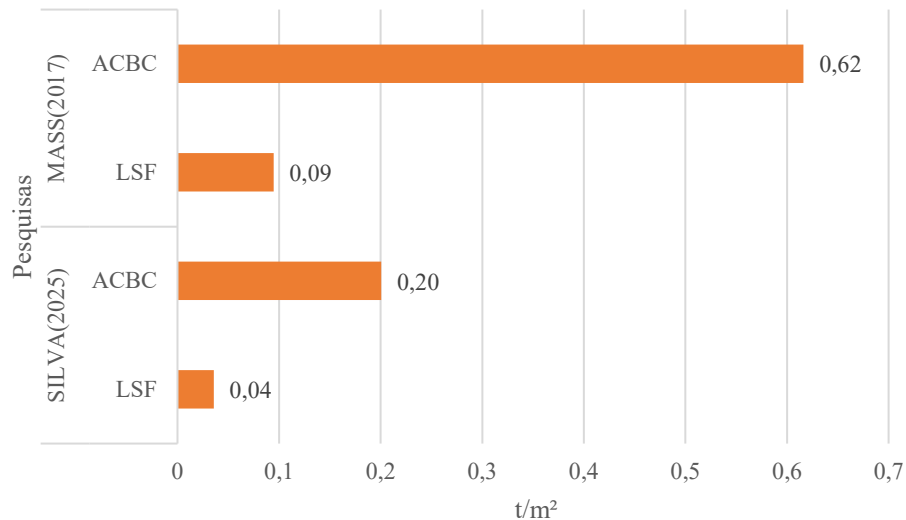
Fonte: Autor.

4.5 COMPARAÇÃO COM LITERATURA EXISTENTE

No que se refere à geração de RCC, os resultados obtidos podem ser contextualizados com os dados de Mass (2017). Em seu estudo com uma residência experimental térrea de 58,15 m², o autor registrou uma produção de 94,80 kg de RCC/m², correspondendo a 11,50% de perdas totais. Vale destacar que, no mesmo estudo, a lã de vidro apresentou índice de perdas de 20,01%, valor significativamente menor que os 27,06% observados na presente pesquisa. Esta comparação revela que o sistema LSF analisado demonstrou uma redução expressiva de 164,65% na geração de RCC por m² em relação a este estudo, reforçando a premissa de que obras de maior escala favorecem a reutilização de materiais e, por consequência, reduzem a

produção de resíduos. A Figura 22 apresenta uma análise comparativa dos valores obtidos nas duas pesquisas, sendo que Silva (2025) se trata deste estudo.

Figura 22 – Comparação de RCC entre as literaturas.



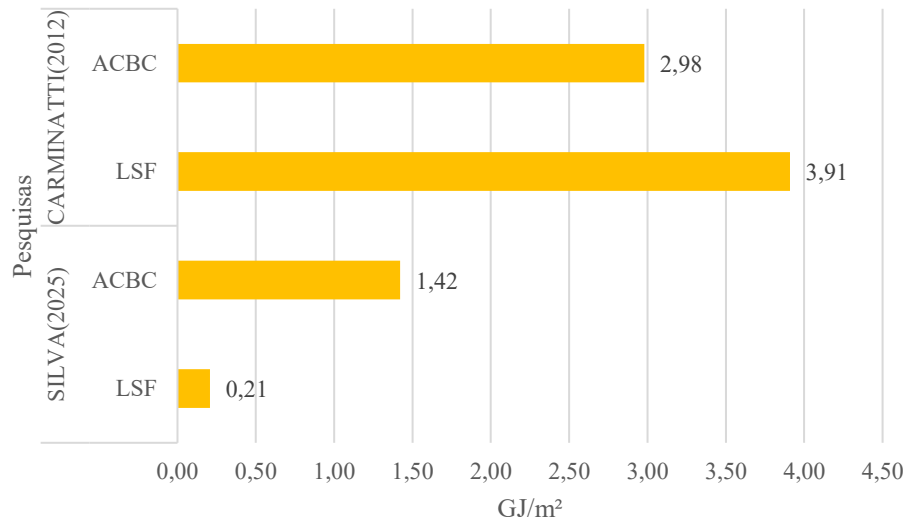
Fonte: Autor.

No âmbito do consumo de energia embutida, os dados de Carminatti (2012) oferecem parâmetros relevantes para análise comparativa. Em sua pesquisa com uma edificação térrea de 39,57 m² em LSF, o autor apurou um consumo de 3,91 GJ/m² - valor substancialmente superior aos 0,21 GJ/m² registrados no presente estudo, representando uma redução de 94,63%. Padrão semelhante foi verificado no sistema ACBC, em que os 2,98 GJ/m² reportados por Carminatti contrastam com os 1,42 GJ/m² deste trabalho, indicando uma diminuição de 51,20% no consumo energético por metro quadrado. Os resultados evidenciam que as economias de escala e a otimização de materiais e processos contribuem para a redução do impacto energético relativo.

Ao analisar os resultados obtidos por Carminatti (2012), observa-se que o método ACBC apresentou valores de energia embutida inferiores aos do sistema LSF, o que contrasta com os achados desta pesquisa. Essa diferença pode ser atribuída às metodologias distintas adotadas em cada estudo. Um dos fatores determinantes é a escala das construções analisadas, uma vez que edificações em LSF tendem a se tornar mais vantajosas à medida que a escala aumenta. O presente estudo, por exemplo, avalia uma área 24,46 vezes maior que a analisada por Carminatti. Além disso, as fontes de dados para cálculo da energia embutida também divergem: enquanto este trabalho se baseia em referências consolidadas, como Tavares e Bragança (2016), ICE v2.0 (2011), Monich (2012) e Saint-Gobain Brasil (2024), Carminatti

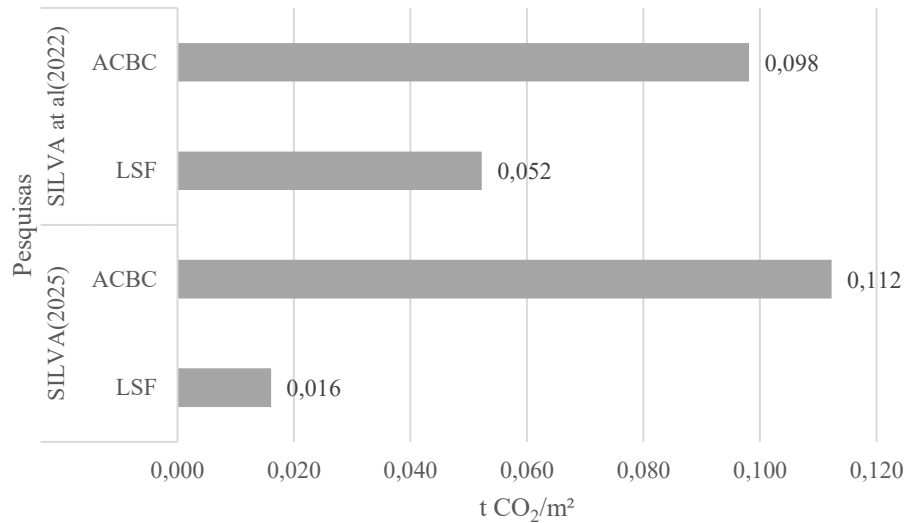
utilizou principalmente literaturas internacionais, considerando processos produtivos de outros países. Essa variação nas bases de dados, somada à diferença temporal de 13 anos entre os estudos, explica as discrepâncias encontradas nos resultados. Tais ponderações são ainda mais evidentes na Figura 23.

Figura 23 – Comparação da EE entre as literaturas



Fonte: Autor.

Ao comparar os resultados obtidos no presente estudo com os dados de Silva, Santos e Lopes (2022), observam-se diferenças significativas nas magnitudes das emissões de CO₂, mas com padrões similares de comportamento entre os sistemas construtivos. Enquanto o estudo anterior registrou 5,99 toneladas de CO₂ para ACBC e 3,19 toneladas para LSF (redução de 46,81%), a presente análise encontrou valores absolutos consideravelmente maiores (108,67 toneladas para ACBC e 15,53 toneladas para LSF), com redução mais expressiva de 85,68%. Essa disparidade pode ser atribuída principalmente às diferenças nas escalas das edificações estudadas e aos materiais específicos utilizados em cada caso. A Figura 24 apresenta uma análise comparativa entre as pesquisas.

Figura 24 – Comparação das emissões de CO₂ entre as literaturas

Fonte: Autor.

Nota-se, porém, uma concordância entre os estudos quanto à vantagem ambiental do LSF, com ambos apontando reduções superiores a 45% nas emissões em relação à alvenaria convencional. O estudo atual complementa esses achados ao detalhar a contribuição específica do aço nas emissões totais - 28,88% no LSF contra 66% no ACBC -, revelando como este material, mesmo em sistemas ditos mais sustentáveis, continua sendo um ponto crítico para as emissões. Além disso, enquanto a pesquisa anterior encontrou valores de 98 kg CO₂/m² (ACBC) e 52 kg CO₂/m² (LSF), o presente trabalho registrou 112,28 kgCO₂/m² e 16,07 kgCO₂/m² respectivamente, mantendo a mesma relação de vantagem para o sistema LSF, porém com diferenças absolutas que reforçam a importância de considerar as particularidades de cada projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou de maneira clara e contundente que o sistema construtivo LSF apresenta vantagens ambientais significativas quando comparado à ACBC, consolidando-se como uma alternativa viável para construções sustentáveis no contexto brasileiro. Os resultados obtidos revelaram que o LSF demandou 4,2 vezes menos materiais, gerou 5,6 vezes menos RCC, consumiu 6,82 vezes menos EE e emitiu quase 7 vezes menos CO₂ durante sua fase pré-operacional. Esses dados quantitativos não apenas validam a superioridade ambiental do sistema industrializado, mas também destacam seu potencial para transformar práticas tradicionais na construção civil, setor reconhecidamente impactante no consumo de recursos naturais e na geração de emissões poluentes.

A análise detalhada do ciclo de vida pré-operacional evidenciou que a eficiência do LSF decorre de características intrínsecas ao sistema, como a racionalização no uso de materiais, a precisão no corte, montagem dos componentes industrializados, gerando uma redução significativa de perdas no canteiro de obras.

Embora a etapa de fundação no sistema LSF tenha apresentado maior consumo de materiais e geração de resíduos em comparação com a ACBC - devido à predominância do radier como solução estrutural, esse aspecto foi amplamente compensado pelo desempenho ambiental superior nas demais fases da construção. O radier, apesar de demandar maior volume de concreto inicialmente, mostrou-se estratégico para garantir estabilidade à estrutura leve, minimizando recalques diferenciais e viabilizando a construção em solos com menor capacidade de carga. A necessidade de equilibrar o impacto inicial e os benefícios técnicos reforça a importância de analisar os sistemas construtivos de forma integral, considerando não apenas aspectos ambientais pontuais, mas também seu desempenho estrutural e durabilidade ao longo do tempo.

A análise comparativa das emissões de CO₂ revelaram um dado particularmente relevante: enquanto o aço foi responsável por 28,88% das emissões no LSF, no sistema ACBC sua participação saltou para 66%, evidenciando como a otimização no uso deste material - típica do sistema industrializado - pode gerar reduções expressivas nas emissões de carbono das edificações.

Os resultados deste trabalho alinham-se com pesquisas anteriores que apontam as vantagens do LSF, porém com diferenças significativas em magnitude, o que pode ser atribuído às particularidades do estudo de caso analisado - uma edificação comercial de quatro pavimentos em Barreiras/BA. Essa contextualização é fundamental, pois demonstra que os

benefícios ambientais do sistema industrializado se tornam ainda mais expressivos em obras de maior escala, onde a racionalização de processos e materiais pode ser plenamente explorada.

Contudo, é importante ressaltar que a adoção do LSF no Brasil ainda enfrenta desafios significativos, como a necessidade de mão de obra especializada, a dependência de materiais industrializados e barreiras culturais enraizadas na preferência por sistemas tradicionais. Estes obstáculos, porém, não diminuem o potencial transformador do sistema, mas sim destacam a necessidade de políticas públicas e iniciativas setoriais que promovam sua difusão, combinando educação profissional, desenvolvimento de cadeias produtivas locais e campanhas de conscientização sobre seus benefícios.

Conclui-se que a escolha do sistema construtivo deve transcender critérios meramente técnicos e econômicos, incorporando de forma decisiva a dimensão ambiental no processo decisório. O LSF emerge não como uma solução universal, mas como uma alternativa comprovadamente mais sustentável para determinados contextos e tipos de edificações, capaz de conciliar eficiência, qualidade e redução de impactos ambientais. Este estudo contribui para o crescente corpo de evidências que apoiam a transição para métodos construtivos mais sustentáveis, oferecendo dados concretos que podem subsidiar tanto projetos acadêmicos futuros quanto decisões práticas no âmbito profissional.

Recomenda-se que pesquisas posteriores ampliem o escopo desta análise, com ênfase em:

- Avaliação das fases operacional e pós-operacional do ciclo de vida dos sistemas LSF, incluindo desempenho em uso e estratégias de desmontagem;
- Investigação dos aspectos financeiros e sociais associados à adoção do LSF no contexto brasileiro, considerando viabilidade econômica e aceitação pelo mercado;
- Análise comparativa com outros sistemas construtivos, em particular a alvenaria estrutural, abordando parâmetros de sustentabilidade, custos e desempenho técnico;
- Avaliação sistemática dos prazos de construção em projetos LSF, com mensuração de ganhos de produtividade em relação a métodos convencionais;
- Desenvolvimento de diretrizes para adaptação do sistema às normas técnicas e condições climáticas brasileiras.

Tais investigações preencheriam lacunas do conhecimento atual enquanto fornecem bases técnicas para adoção do LSF, permitindo uma avaliação multidimensional de seu potencial como solução sustentável que integra aspectos ambientais, econômicos, sociais e tecnológicos na construção civil nacional.

REFERÊNCIAS

ABCP. Parâmetros técnicos para alvenaria estrutural. São Paulo: ABCP, 2021.

ADV Engenharia. Como calcular traço de concreto? Disponível em: <https://advengenharia.com.br>. Acesso em: março/2025.

AKHTARYZZAMAN, M.; HASNAT, A. *Uso de Tijolos Triturados como Agregados em Concretos*. Daca, 1983

ALTUS. EBERICK Infinity. Versão 2024. São Paulo: Altus Sistemas de Informática, 2024. Disponível em: <https://www.altus.com.br/eberick/>. Acesso em: 30 abril. Ano.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. *ASTM A1003: Standard Specification for Steel Sheet, Carbon, Metallic-Coated by the Hot-Dip Process for Light Frame Construction*. West Conshohocken, 2018.

ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN - AIJ. *Recommendations for Light Steel Frame Construction*. Tokyo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. *Light Steel Frame: Panorama Nacional*. São Paulo: ABCEM, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Estudo Técnico sobre Argamassa para Alvenaria. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/ARG_ET-91_Arg_assent_paredes_alv_resistente.pdf. Acesso em: 10 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 14040:2009 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13281:2023 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16970:2022 – Edificações em Light Steel Frame (LSF) – Requisitos para projeto, execução e desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6136:2019 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6136:2020 - Parafusos auto-atarraxantes com cabeça hexagonal e flange - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7212:2005 - Concreto dosado em central - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15270-3:2005: *Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 3: Execução e controle de obras*. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16970-1:2022 - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio com fechamento em chapas delgadas – Parte 1: Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16970-2:2022 - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio com fechamento em chapas delgadas – Parte 2: Projeto estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16970-3:2022 - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio com fechamento em chapas delgadas – Parte 3: Interfaces entre sistemas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). Dados sobre reciclagem de RCC no Brasil – 2022. São Paulo: Abrecon, 2022. Disponível em: <https://www.abrecon.org.br>. Acesso em: 28 jul. 2025.

AUTODESK. Revit. Versão Educacional 2025. San Rafael, CA: Autodesk Inc., 2024. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview>. Acesso em: 05 maio. 2025

BATTISTELLA, Fernanda Branco. Light steel framing: uso da estrutura de aço como tecnologia construtiva. 2025. Monografia (Curso de Engenharia Civil) - Udesc, 2011. Disponível em: <https://repositorio.udesc.br/handle/UDESC/12445>. Acesso em: 07 de fevereiro. 2025.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. *The Hitch Hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund: Studentlitteratur, 2004. 543 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jul. 2002.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: MTE, 2025. Disponível em: [NR 18 –

BRITO, J. et al. *Uso de Agregados Reciclados em Concretos*. São Paulo, 2005.

CARMINATTI, R. J. Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em light steel framing. 141p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

- CARVALHO, J. L. V. José Leonardo Vanderlei de Carvalho. Estimativa energética e recuperação de metano de RSU por digestão anaeróbia e poder calorífico: Estudo de caso Barreiras – BA. 128 p., Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- CARVALHO, M. T. M. et al. Gênese e difusão das técnicas de alvenaria. *Revista CPC*, São Paulo, n. 27, p. 89-114, maio/ago. 2019. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/cpc/article/view/153456>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- CARVALHO, R. A.; PINHEIRO, A. C. B. *Fundações superficiais: radier*. In: _____. *Fundações: teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: Pini, 2009. p. 289-310.
- CASSAR, B.C. Análise comparativa entre sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: Alvenaria convencional x Light Steel Frame. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2018.
- CASTRO, R. C. M. Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light steel framing. Ouro Preto: UFOP, 2005.
- CAUS, Sérgio. Projeto Executivo – Planta Baixa. Barreiras, BA, 2024. Projeto arquitetônico. Disponível em: <arquivo PDF anexado>. Acesso em: 17 mar. 2025
- CAVALHEIRO, O. P. Alvenaria Estrutural: Tão Antiga e Tão Atual. Disponível em: https://anicerpro.com.br/wp-content/uploads/2018/04/Alvenaria-Estrutural_T%C3%A3o-antiga-e-t%C3%A3o-atual_cavalheiro1.pdf. Acesso em: 10 mar. 2025.
- CELERE, P. Tabelas PINI: 70 anos orientando a construção nacional. *Revista Construção Mercado*, São Paulo, ed. 345, p. 32-35, jan. 2023
- Cerâmica Mônaco. Consumo médio por m² – Chapisco e reboco. Disponível em: <https://ceramicamonaco.com.br>. Acesso em: março/2025.
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION - CEN. *Eurocode 3: Design of steel structures*. Brussels, 2006.
- CONDIÇÕES DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Acesso em: 10 jan. 2025.
- COSTA, V.A.S.; SCHVAICKARDT, C.M. Estudo de traço para peças pré-moldadas de concreto. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, 2017.
- CRAWFORD, R.H. Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method. *Journal of Environmental Management*, v. 88, p. 496-506, 2008.
- DAVIES, J. M. *Light Steel Framing in Construction: International Perspectives*. Londres: Taylor & Francis, 2020.
- DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. Avaliação do ciclo de vida aplicada a sistemas construtivos: análise comparativa de impactos ambientais. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2015.

Educapes. Light Steel Frame - Conhecendo o sistema construtivo a seco. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/601195/2/Produto%20educacional.pdf>. Acesso em: 07 de Fev,2025.

ENGPRIME. *Steel Framing: Arquitetura*. Disponível em: <https://engprime.com.br>. Acesso em: 26 fev. 2025.

FERREIRA, K. Estudo Comparativo entre Argamassas Convencionais e Industrializadas. Trabalho de Conclusão de Curso, UTFPR, 2016.

FRECHETTE, Leon A.. Building smarter with alternative materials. Disponível em: <http://www.build-smarter.com>. Acesso em jan. 2025.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M.; SANTIAGO, A. K. Manual de Construção em Aço: Steel Framing – Arquitetura. São Paulo: CBCA, 2012.

GARDNER, L.; NETHERCOT, D. A. *Designers' Guide to EN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of Steel Structures*. Londres: Thomas Telford, 2011.

GIORDANI, J.; DARÉ, D. *Análise de Variabilidade de Técnicas Orçamentárias em uma Obra Residencial*. Universidade de Rio Verde, 2015. Disponível em: <https://www.unirv.edu.br>. Acesso em: 19 mar. 2025.

IBEC - Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos. Diretrizes para análise de viabilidade econômica. São Paulo: IBEC, 2022. (Download gratuito: <https://www.ibec.org.br/publicacoes>)

IBGE. Pesquisa Anual da Indústria da Construção: PAIC 2022. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 de jan. 2025.

ICE v 2.0 – Inventory of Carbon and Energy. University of Bath: Inglaterra, 2011. Disponível em: www.carbonsolutions.com/resources/ice%20v2.0%20-%20jan%202011.xls. Acesso em: set. 2016.

Instituto da Construção. Como calcular blocos por metro quadrado. Disponível em: <https://www.institutodaconstrucao.com.br>. Acesso em: março/2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. *ISO 14728: Light gauge steel structures – Design principles*. Geneva, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Geneva, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Geneva, 2006.

JISC. *JIS G 3302: Hot-dip zinc-coated steel sheets and coils*. Tóquio: Japanese Industrial Standards Committee, 2015.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Gestão de resíduos na construção civil: aspectos técnicos e sociais. São Paulo: EPUSP, 2001.

KAMINSKI, P. C. O sistema construtivo Light Steel Framing: tecnologia e desempenho. São Paulo: PINI, 2006.

KIBERT, C. J. Sustainable construction: green building design and delivery. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2016
Light Steel Framing. Research, Society and Development, vol. 8, núm. 9, 2019.

LIMA, A. M.; ROCHA, T.; ALMEIDA, T. Levantamento Comparativo de Alvenaria Estrutural, Alvenaria de Vedação e Wood Frame. Trabalho de Conclusão de Curso, FIB, 2017.

LIMA, R.; HORIZONTE, B. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS ESCOLA DE ENGENHARIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL TÉCNICAS, MÉTODOS E PROCESSOS DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAME. [s.l.: s.n.]. Disponível em:
<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-9JXL52/1/disserta__o_rondinely_.pdf>.

Mapadaobra. Etapas essenciais na construção em alvenaria. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br>. Acesso em: março/2025.

MASS, Bárbara Holzmann. Resíduos de construção civil na obra de uma edificação e seus impactos: estudo de caso de uma residência em Light Steel Framing e simulação de uma em alvenaria. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/47702>. Acesso em: 24 mar. 2025.

MEDEIROS. Análise da Sustentabilidade na Alvenaria Convencional. Repositório Institucional da UFPE, 2023.

MONICH, C. R. Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná. 126p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

NAKASHIMA, M. *Seismic Design of Steel Structures in Japan*. Tóquio: Springer, 2018.

O'CONNOR, Jennifer; BOWICK, Matt. Advancing sustainable design with life cycle assessment. Athena Sustainable Materials Institute, May 2014. Disponível em: <http://www.athenasmi.org>. Acesso em: 20 de mar.2025.

OLIVEIRA A.M.C.P.; Kern A.P. Consumo hídrico na produção do concreto usinado. Revista Engenharia Civil, v.18 n.2 p.e25042, Unisinos: Porto Alegre – Brasil, 2020.

OLIVEIRA, A. F. et al. Métodos de orçamentação na fase preliminar de projetos. Revista Construção e Economia, v. 12, n. 2, p. 45-63, 2023. DOI: 10.1590/xxxx (Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rce>)

OLIVEIRA, R. C. Avaliação do ciclo de vida comparativa de sistemas construtivos: edificações em madeira versus alvenaria estrutural. 2022. 245 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

PADILHA JUNIOR, A. et al. *Comparação de métodos de orçamentação de obras de construção civil*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br>. Acesso em: 19 mar. 2025.

PARSEKIAN, A. et al. *História e Evolução dos Tijolos Cerâmicos*. Rio de Janeiro, 2013.

PEREIRA, F. M. et al. Evolução dos sistemas estruturais na construção civil brasileira. *Revista Construção e Tecnologia*, v. 12, n. 3, p. 45-62, 2020.

PINI. *Tabela de Composições e Preços para Orçamentos*. TCPOweb, 2015. Disponível em: <https://tcpoweb.pini.com.br>. Acesso em: 19 mar. 2025

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção civil. São Paulo: ABRELPE, 2019.

PIRES, Alexandre Auriema; OLIVEIRA, Franklin Menezes de Faria; CAMPISTA, Fernanda Fernandes. Light Steel Frame no Brasil: desafios e oportunidades para a popularização da construção industrializada. *Revista Fator T*, 2024. DOI: 10.69849/revistaft/th102502250916. Disponível em: <https://revistaft.com.br/light-steel-frame-no-brasil-desafios-e-oportunidades-para-a-popularizacao-da-construcao-industrializada/>. Acesso em: 1 maio 2025.

Portland Cement Association. Applications of Cement. Disponível em: <https://www.cement.org>. Acesso em: março/2025.

PRODWEB. Blog | ABCEM. Disponível em: <<https://www.abcem.org.br/site/blog/light-steel-framing-garantia-de-cases-de-sucesso>>. Acesso em: 12 fev. 2025

RAMALHO, M. R.; CORRÊA, A. C. *Unidades de Concreto e Cerâmicas em Alvenaria Estrutural*. São Paulo, 2008.

RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S., Projeto de edifício de alvenaria estrutural. 1. ed. São Paulo - SP: Pini, 2003.

Rhombus Concrete. Ready Mix Concrete. Disponível em: <https://rhombusconcrete.com>. Acesso em: março/2025.

ROBERTS, B. Tecnologias verdes e eficiência energética em alvenaria. 2. ed. Rio de Janeiro: Edições TecnoVerde, 2025.

RODRIGUES, F. C.; CALDAS, R. B. Manual de Construção em Aço: Steel Framing – Engenharia. São Paulo: CBCA, 2016.

SÁEZ, P. et al. *Redução de Resíduos em Construções com Placas de Gesso*. Rio de Janeiro, 2014.

SAINT-GOBAIN BRASIL. Environmental Product Declaration: Placoplast Basecoat®. Jandira, SP: Placo do Brasil, 2024. Disponível em: www.environdec.com. Acesso em: 11 abril. 2025.

SALOMÃO, P. E. A. Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e steel frame. 2021. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

SANTIAGO, A. K. O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural. Ouro Preto: UFOP, 2008.

SANTOS, C. A. Técnicas construtivas brasileiras no século XX. Rio de Janeiro: PINI, 2018. Cap. 4. (Disponível em: <https://www.pini.com.br>)

Sienge Software Construtivo. Rendimento por metro quadrado na construção civil. Disponível em: <https://sienge.com.br>. Acesso em: março/2025.

SILVA, Hellen Cristina Alves da; SANTOS, Vitória Ferreira dos; LOPES, Shara Carvalho. Estudo comparativo da emissão de CO₂ e energia embutida entre estruturas em alvenaria e em Steel Frame. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 14, n. 4, p. 166-172, dez. 2022. ISSN 2176-7270. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/20888>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SILVA, J. R. *Rio Media Center: Uma Conquista do Steel Frame nas Construções Brasileiras*. Rio de Janeiro: Editora Construção Moderna, 2017

SILVA, L. M. et al. Sistemas estruturais mistos no Brasil: análise de 20 anos de evolução. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 15-32, jul./set. 2022. DOI: 10.1590/s1678-86212022000300573.

SMART Construções. Economia e construção sustentável: como o LSF transforma o setor. 2024. Disponível em: <https://conteudo.espacosmart.com.br/economia-construcao-sustentavel/>. Acesso em: 4 abr. 2025.

SOUZA M., F.; RODRIGUES R., B.. Sistemas estruturais de edificações com exemplos práticos utilizando Light Steel Framing. Campinas: UNICAMP/DES/FECFAU, 2008.

SOUZA, Eduardo Luciano de. Construção Civil e Tecnologia: Estudo do Sistema Construtivo Light Steel Framing. 2014. 137f. Monografia (Pós-Graduação em Construção Civil). Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

SOUZA, R. et al. *Análise dos Resíduos em Construções Tradicionais*. Rio de Janeiro, 2019.

SOUZA, V. L. et al. Evolução histórica dos materiais de construção no Brasil. Técnica, v. 25, n. 1, p. 34-51, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/xxxx>. Acesso em: 2 de jan de 2025.

TAVARES, S. F. Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. 225p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TAVARES, S.F.; BRAGANÇA, L. Índices de CO2 para materiais de construção em edificações brasileiras. In: SBE Series 16 – Brazil & Portugal. Anais. Vitória, 2016.

TCPO – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos. 13 ed. São Paulo: Pini, 2010.

TEIXEIRA, L. A.; SIMPLÍCIO M., C.A.. Construções Sustentáveis com Light Steel Framing no Brasil. São Paulo: Blucher Editora, 2022.

TERNI, C. A. S.; SANTIAGO, L. C.; PIANHERI, A. L. *Sistemas construtivos em Light Steel Frame (LSF): planejamento e execução*. São Paulo: Pini, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Traço do concreto 25Mpa e as quantidades totais de materiais para pavimento térreo.

Traço concreto por m ³	Controle "A"	VOLUME DE CONCRETO TOTAL(m ³)		TOTAL
Cimento (kg)	347			13415,02 kg
Areia(m ³)	0,709	38,66		27,40994 m ³
Brita(m ³)	0,599			23,15734 m ³

Fonte: Autor.

APÊNDICE B - Traço do concreto 25Mpa e as quantidades totais de materiais para pavimentos tipo

Traço concreto por m ³	Controle "A"	VOLUME DE CONCRETO TOTAL(m ³)		TOTAL
Cimento (kg)	347			30397,2 kg
Areia(m ³)	0,709	87,6		62,1084 m ³
Brita(m ³)	0,599			52,4724 m ³

Fonte: Autor.

APÊNDICE C - Volume de madeira para fôrmas dos pavimentos tipo.

Descrição		Área total da seção (m ²)	Volume total de 1m (m ³)	Qtd p/ 1m ² forma(m)	Volume p/ 1m ² forma(m ³)	Área de formas total(m ²)	Volume total(m ³)
Madeira serrada	Pontaletes 3x3"	0,0056	0,0056	6,000	0,0336	1370,43	73,69487
	SARRAFO 1X3"	0,0019	0,0019	8,25	0,015675		
	TABUA 1X8"	0,005	0,005	0,52	0,0026		
	TABUA 1X6"	0,0038	0,0038	0,5	0,0019		
Madeira compensada	Compensado 12mm	1,00	0,012	1,25	0,015	0,015	20,55645

Fonte: (1) TCPO (2010, p.126). Elaboração própria.

APÊNDICE D - COMPOSIÇÃO DAS PAREDES DE VEDAÇÃO PAVIMENTOS TIPO

Composição alvenaria	Qtde			Área total (m ²)	Total	Qtde final
	TCPO	SIENGE	Media			
Tijolo 9x19x14cm (peça)	33,33	17	25,17	1889	47546,13 und	47546,13 und
Argamassa 1:4(m ³)	0,01				18,89 m ²	
Cimento (kg)	365					6894,85 kg
Areia (m ³)	0,935					17,66215 m ³

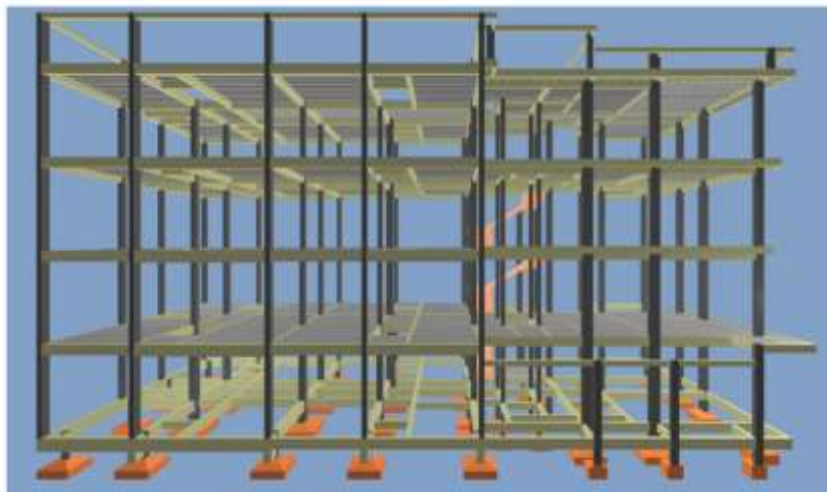
Fonte: TCPO (2010, p. 189); SIENGE. Elaboração própria.

**APÊNDICE E - COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO DOS
PAVIMENTOS TIPO.**

Traço argamassas por m ²	Chapisco e=5mm 1:3 ⁽¹⁾	Reboco e=5mm 1:3 ⁽⁴⁾	Total
Área (m ²)	3778	3778	
Cimento (kg)	9180,54	14224,17	23404,71
Areia (m ³)	23,0458	13,69525	36,74105

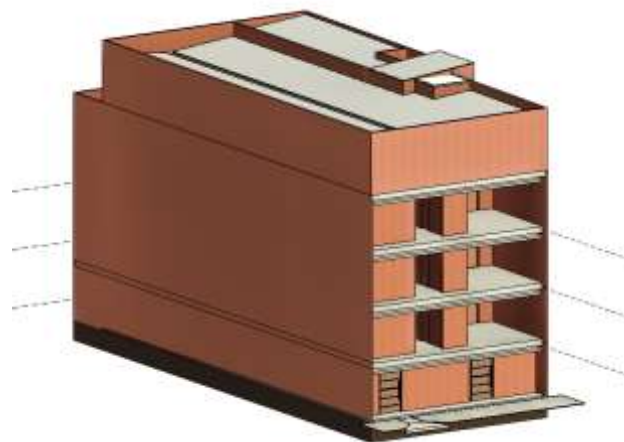
Fonte: TCPO (2010). Elaboração própria.

APÊNDICE F - REPRESENTAÇÃO EM 3D DO PROJETO ESTRUTURAL NO EBERICK.



Fonte: Autor

APÊNDICE G - REPRESENTAÇÃO EM 3D DO PROJETO ARQUITETONICO NO REVIT.



Fonte: Autor

APÊNDICE H – CÁLCULO COMPLETO DAS QUANTIDADES DE MATERIAL PARA O EDIFÍCIO EM ACBC.

APLICAÇÃO		DESCRIÇÃO		QTDE PARCIAL NECESSARIA	CONSUMO DO PRODUTO	QTD NECESSARIA (MATERIAL)	PERDAS DO MATERIAL (%)	QTDE PERDAS PARCIAL 1	PERDAS DO PRODUTO (%)	QTDE PERDAS PARCIAL 2	QTDE PERDAS POR ENTULHO FINAL
		PRODUTO	MATERIAL								
FUNDAÇÃO	SAPATAS	CONCRETO (m³)	CIMENTO (kg)	7.946,30	1,08	8.582,00	16,50	1.416,03	6,00	514,92	1.930,95
			AREIA(m³)	13,72		14,81	15,00	2,22		0,89	3,11
			BRITA(m³)	16,24		17,53	9,00	1,58		1,05	2,63
		ARMADURA (kg)	AÇO (kg)	665,20	1,00	665,20	10,50	69,85	0,00	0,00	69,85
PAVIMENTO TERRÃO	ESTRUTURA	CONCRETO	CIMENTO (kg)	13.415,02	1,08	14.488,22	16,50	2.390,56	6,00	869,29	3.259,85
			AREIA(m³)	27,41		29,60	15,00	4,44		0,00	4,44
			BRITA(m³)	23,16		25,01	9,00	2,25		0,00	2,25
		ARMADURA	AÇO (kg)	63.824,00	1,00	63.824,00	10,50	6.701,52	0,00	0,00	6.701,52
			FÔRMAS	MADEIRA SERRADA	6,37	1,00	6,37	15,00	0,96	100,00	6,37
		COMPENSADO		1,78	1,78		15,00	0,27	1,78		1,78
	PAREDES	ALVENARIA	TIJOLO 9X14X19cm	12.205,03	-	12.205,03	15,00	1.830,75	0,00	0,00	1.830,75
		ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	CIMENTO (kg)	1.770,25	-	1.770,25	16,50	292,09	24,00	424,86	716,95
			AREIA(m²)	4,53	-	4,53	18,50	0,84		0,00	0,84
	REVESTIMENTO	CHAPISCO	CIMENTO (kg)	2.357,10	-	2.357,10	11,80	278,14	21,00	494,99	773,13
AREIA(m²)			5,92	-	5,92	18,50	1,09	0,00		1,09	
REBOCO		CIMENTO (kg)	3.652,05	-	3.652,05	19,00	693,89	13,00	474,77	1.168,66	
		AREIA(m²)	3,52	-	3,52	18,50	0,65		0,00	0,65	
PAVIMENTOS TIPO	ESTRUTURA	CONCRETO	CIMENTO (kg)	30.397,20	1,08	32.828,98	16,50	5.416,78	6,00	1.969,74	7.386,52
			AREIA(m³)	62,11		67,08	15,00	10,06		0,00	10,06
			BRITA(m³)	52,47		56,67	9,00	5,10		0,00	5,10
		ARMADURA	AÇO (kg)	185.870,88	1,00	185.870,88	10,50	19.516,44	0,00	0,00	19.516,44
		FÔRMAS	MADEIRA SERRADA	73,69	1,00	73,69	15,00	11,05	100,00	73,69	73,69
			COMPENSADO	20,56		20,56	15,00	3,08		20,56	20,56
	PAREDES	ALVENARIA	TIJOLO 9X14X19cm	47.546,13	-	47.546,13	15,00	7.131,92	0,00	0,00	7.131,92
		CIMENTO (kg)	6.894,85	-	6.894,85	16,50	1.137,65	24,00	1.654,76	2.792,41	

		ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	AREIA(m²)	17,66	-	17,66	18,50	3,27		0,00	3,27
REVESTIMENTO	CHAPISCO		CIMENTO (kg)	9.180,54	-	9.180,54	11,80	1.083,30	21,00	1.927,91	3.011,22
			AREIA(m²)	23,05	-	23,05	18,50	4,26		0,00	4,26
	REBOCO		CIMENTO (kg)	14.224,17	-	14.224,17	19,00	2.702,59	13,00	1.849,14	4.551,73
			AREIA(m²)	13,70	-	13,70	18,50	2,53		0,00	2,53

Fonte: Autor

APÊNDICE I - CONVERSÃO DE UNIDADES DO EDIFÍCIO EM ALVENARIA CONVENCIONAL EM BLOCO CERÂMICO PARA KG

APLICAÇÃO		DESCRIÇÃO		QTDE TEORICA NECESSARIA	QTD PERDAS	PESO ESPECIFICO	QTDE TEÓRICA NECESSARIA (kg)	QTDE PERDAS POR ENTULHO (kg)
		PRODUTO	MATERIAL					
FUNDAÇÃO	SAPATAS	CONCRETO	CIMENTO	8.582,00	1.930,95	-	8.582,00	1.930,95
			AREIA	14,81	3,11	1515	22.443,92	4.713,22
			BRITA	17,53	2,63	1650	28.932,73	4.339,91
		ARMADURA	AÇO	665,20	69,85	-	665,20	69,85
PAVIMENTO TERRÃO	ESTRUTURA	CONCRETO	CIMENTO	14.488,22	3.259,85	-	14.488,22	3.259,85
			AREIA	29,60	4,44	1515	44.848,14	6.727,22
			BRITA	25,01	2,25	1650	41.266,38	3.713,97
		ARMADURA	AÇO	63.824,00	6.701,52	-	63.824,00	6.701,52
		FÔRMAS	MADEIRA SERRADA	6,37	6,37	600	3.821,47	3.821,47
			COMPENSADO	1,78	1,78	550	977,13	977,13
	PAREDES	ALVENARIA	TIJOLO 9X14X19cm	12.205,03	1.830,75	2,2	26.851,06	4.027,66
		ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	CIMENTO	1.770,25	716,95	-	1.770,25	716,95
			AREIA	4,53	0,84	1515	6.870,15	1.270,98
	REVESTIMENTO	CHAPISCO	CIMENTO	2.357,10	773,13	-	2.357,10	773,13
			AREIA	5,92	1,09	1515	8.964,26	1.658,39
		REBOCO	CIMENTO	3.652,05	1.168,66	-	3.652,05	1.168,66
AREIA			3,52	0,65	1515	5.327,12	985,52	

PAVIMENTOS TIPO	ESTRUTURA	CONCRETO	CIMENTO	32.828,98	7.386,52	-	32.828,98	7.386,52	
			AREIA	67,08	10,06	1515	101.621,76	15.243,26	
			BRITA	56,67	5,10	1650	93.505,82	8.415,52	
		ARMADURA	FÔRMAS	AÇO	185.870,88	19.516,44	-	185.870,88	19.516,44
		MADEIRA SERRADA		73,69	73,69	600	44.216,92	44.216,92	
		COMPENSADO	20,56	20,56	550	11.306,05	11.306,05		
	PAREDES	ALVENARIA	TIJOLO 9X14X19cm	47.546,13	7.131,92	2,2	104.601,49	15.690,22	
		ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	CIMENTO	6.894,85	2.792,41	-	6.894,85	2.792,41	
			AREIA	17,66	3,27	1515	26.758,16	4.950,26	
	REVESTIMENTO	CHAPISCO	CIMENTO	9.180,54	3.011,22	-	9.180,54	3.011,22	
			AREIA	23,05	4,26	1515	34.914,39	6.459,16	
		REBOCO	CIMENTO	14.224,17	4.551,73	-	14.224,17	4.551,73	
			AREIA	13,70	2,53	1515	20.748,30	3.838,44	

Fonte: Autor

APÊNDICE J - Perdas por TCPO (2010), Agopyan et al. (1998) e Tavares (2006)

Descrição		Perdas material (%)				Perdas produto (%)		
		TCPO	Agopyan	Tavares	Silva	TCPO	Agopyan	Silva
Concreto	Cimento	5	28	-	16,5	5	6	6
	Areia	15	0	-	15			
	Brita	-	9	-	9			
Armadura	Aço	10	11	-	10,5	0	0	0
Fôrmas	Madeira serrada	-	-	15	15	-	-	100
	Compensado	-	-	15	15			
Alvenaria	Tijolo 9x14x19cm	5	15	-	15	0	0	0
Argamassa de assentamento	Cimento	5	28	-	16,5	30	18	24
	Areia	15	22	-	18,5			
Chapisco	Cimento	5	11,8	-	11,8	-	21	21
	Areia	15	22	-	18,5			

Reboco	Cimento	5	22	-	19	-	13	13
	Areia	15	18	-	18,5			

Fonte: TCPO (2010), Agopyan et al. (1998) e Tavares (2006). Elaboração Própria.