



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

**MAICON SOUZA LEITE**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO  
CIVIL: ESTUDO DE CASO DE EMPREENDIMENTOS EM ALVENARIA  
CONVENCIONAL E ESTRUTURAL NA CIDADE DE BARREIRAS – BA.**

**BARREIRAS-BA**

**2025**

**MAICON SOUZA LEITE**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO  
CIVIL: ESTUDO DE CASO DE EMPREENDIMENTOS EM ALVENARIA  
CONVENCIONAL E ESTRUTURAL NA CIDADE DE BARREIRAS – BA.**

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

Orientador: Prof. Dr. Roberto Bagattini Portella

**BARREIRAS-BA**

**2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

L533 Leite, Maicon Souza.

Análise comparativa da geração de resíduos da construção civil: estudo de caso de empreendimentos em alvenaria convencional e estrutural na cidade de Barreiras – BA. / Maicon Souza Leite. – 2025.

99f.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Bagattini Portella.

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

1. Bloco cerâmico. 2. Bloco estrutural. 3. Redução de resíduos. 4. Vedação estrutural. I. Portella, Roberto Bagattini. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

---

**MAICON SOUZA LEITE**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO  
CIVIL: ESTUDO DE CASO DE EMPREENDIMENTOS EM ALVENARIA  
CONVENCIONAL E ESTRUTURAL NA CIDADE DE BARREIRAS – BA.**

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

Orientador: Prof. Dr. Roberto Bagattini Portella

Aprovado em 13 de fevereiro de 2025

**Banca Examinadora**

Dr. Roberto Bagattini Portella (Orientador)

UFOB – Universidade Federal do Oeste da Bahia

Dra. Suzy Magaly Alves Cabral de Freitas (Membro)

UFOB – Universidade Federal do Oeste da Bahia

Dr. Juarez Hoppe Filho (Membro)

UFOB – Universidade Federal do Oeste da Bahia

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar força e sabedoria ao longo de toda esta jornada. À minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio incondicional: minha avó Francisca (Chiquinha), meu avô Alberto (*in memoriam*), que foram os responsáveis pela minha educação e formação como pessoa, e meu irmão Marcio.

Agradeço profundamente à minha mãe Zenilde, que desempenhou papel de pai e mãe e considero, acima de tudo, minha grande amiga.

Dedico um agradecimento especial à minha esposa, Andreza, que sempre acreditou em mim e em meus sonhos, muitas vezes mais do que eu mesmo. Ao meu filho, Pietro, que me inspira diariamente a ser uma pessoa melhor e, mesmo sem saber, me incentiva constantemente a buscar sempre o melhor para nós.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao meu orientador, Professor Roberto Bagattini Portella, pela orientação, apoio e dedicação. Suas valiosas sugestões e críticas foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos meus colegas e amigos, que estiveram ao meu lado durante este longo e desafiador período. Vocês compartilharam experiências, alegraram minha jornada com risadas e lágrimas, e me incentivaram a seguir em frente.

Aos professores que se dedicaram intensamente ao longo desses anos.

Por fim, agradeço aos professores da banca, que dedicaram seu tempo e conhecimento para avaliar este trabalho.

A todos vocês, meu muito obrigado!

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa da geração de resíduos da construção civil (RCC) entre duas técnicas construtivas amplamente utilizadas no Brasil: alvenaria convencional e alvenaria estrutural. A pesquisa foi realizada em duas obras residenciais localizadas no bairro Cidade Nova, em Barreiras-BA, no contexto do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV). Com uma abordagem metodológica mista, envolvendo entrevistas, coleta de dados no canteiro de obras e análises quantitativas, foram investigados o volume de resíduos gerados, os materiais responsáveis pela geração de RCC e as práticas de gerenciamento adotadas em cada método construtivo. Os resultados mostram que a alvenaria estrutural, caracterizada pela utilização de blocos de concreto e pela ausência de vigas e pilares, gerou 2.622,35 kg de RCC (38,005 kg/m<sup>2</sup>), enquanto a alvenaria convencional, que utiliza blocos cerâmicos e estrutura em concreto armado, produziu 5.102,83 kg de RCC (70,873 kg/m<sup>2</sup>). Essa diferença reflete a maior eficiência do método estrutural na redução de resíduos devido à sua modularidade e ao melhor aproveitamento dos materiais. Contudo, o custo dos materiais básicos, como os blocos estruturais de concreto (R\$ 2,86 por unidade), é significativamente maior que o dos blocos cerâmicos (R\$ 0,75 por unidade), impactando a viabilidade econômica do método. Além disso, o estudo evidenciou que a gestão inadequada de RCC pode elevar os custos operacionais e os impactos ambientais, destacando a importância de estratégias como modulação, treinamento de mão de obra e reutilização de resíduos no canteiro. A pesquisa conclui que, embora a alvenaria estrutural seja ambientalmente mais sustentável, sua viabilidade global depende de uma análise detalhada que considere os custos de insumos, a complexidade do projeto e as práticas de gerenciamento implementadas.

**Palavras-chave:** bloco cerâmico, bloco estrutural, redução de resíduos, vedação, estrutural, eficiência construtiva, modulação de alvenaria.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Volume de produção dos insumos da construção civil no Brasil entre os anos de 2012 e 2022.....	19
Figura 2 - Composição percentual da geração de resíduos sólidos da construção civil no Brasil, referente ao ano de 2019, seguindo a classificação do CONAMA.....	24
Figura 3 - Geração de RCC no Brasil e por grande região – comparativo 2022 e 2023 (toneladas).....	25
Figura 4- Geração de RCC per capita no Brasil por grande região (2023).....	26
Figura 5- Disposição final dos resíduos sólidos da construção civil segundo o SINIR para o ano de 2019.....	28
Figura 6- Mapa dos 21 municípios que compõem a Região Celeiro/RS .....	31
Figura 7 - Exemplificação da alvenaria de vedação.....	36
Figura 8 - Componentes básicos de uma obra em Alvenaria Estrutural. ....	41
Figura 9 - Exemplificação de um projeto da ICC onde aplica-se a técnica de alvenaria estrutural .....	43
Figura 10 - Fluxograma metodológico proposto.....	49
Figura 11 - Mapa de localização da cidade de Barreiras no estado da Bahia - Brasil .....	50
Figura 12 - Localização do bairro Cidade Nova em Barreiras – BA. ....	51
Figura 13 - Obras sob análise, sendo “A” onde emprega-se alvenaria estrutural e “B” a convencional .....	51
Figura 14 - Planta Baixa da obra em Alvenaria Estrutural.....	54
Figura 15 - Modelo da família de Blocos Estruturais de Concreto utilizados na obra. ....	55
Figura 16 - Radier em processo de concretagem .....	56
Figura 17 - Recortes realizados nos blocos para acomodar as caixas de luz 4x2 polegadas. ....	59
Figura 18 - Escoramento da laje com madeiras de eucalipto e tábuas de pinho. ....	61
Figura 19 - Pintor lixando a parede com auxílio de máquina lixadeira elétrica.....	62
Figura 20 - Residência em alvenaria estrutural, analisada, sendo “A” fachada externa e “B” fachada interna.....	63

Figura 21 - Planta Baixa da obra em Alvenaria Convencional .....	65
Figura 22 - Bloco Cerâmico de vedação utilizado na residência .....	66
Figura 23 - RCC de blocos cerâmicos – Residência em Alvenaria de Vedação .....	69
Figura 24 - Tábuas utilizadas na construção da residência .....	71
Figura 25 - Residência em alvenaria de vedação, analisada, sendo “A” fachada externa e “B” fachada interna.....	72
Figura 26 - Resíduos da obra que emprega alvenaria estrutural .....	81
Figura 27 - Planta baixa da unidade em alvenaria estrutural .....	89
Figura 28 - Fachadas da unidade em alvenaria estrutural .....	90
Figura 29 - Corte AA unidade em alvenaria estrutural.....	91
Figura 30 - Corte BB unidade em alvenaria estrutural.....	92
Figura 31 - Modulação dos blocos e posição dos grautes na unidade em alvenaria estrutural .....	93
Figura 32 - Planta baixa da unidade em alvenaria de vedação.....	94
Figura 33 - Corte A da unidade em alvenaria de vedação .....	95
Figura 34 - Corte B da unidade em alvenaria de vedação.....	96
Figura 35 - Fachada da unidade em alvenaria de vedação .....	97
Figura 36 - Fachada externa da unidade em alvenaria de vedação .....	98
Figura 37 - Planta de cobertura da unidade em alvenaria de vedação .....	99
Figura 38 - Representação 3D da unidade em alvenaria de vedação .....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos da Construção Civil .....	22
Quadro 2 – Perfil de geração dos RCC por material e percentual de incidência .....	30
Quadro 3 – Custos com a destinação dos resíduos da construção civil em quatro diferentes projetos analisados em duas diferentes construtoras em Recife/PE. ....	32
Quadro 4 – Índice de eficiência de redução da geração de resíduos da construção civil segundo estratégias já analisadas em empreendimentos diversos da ICC.....	34
Quadro 5 – Principais materiais empregados nos projetos de alvenaria convencional.....	37
Quadro 6 – Resíduos da Construção Civil gerados em uma obra situada em Maringá/PR, onde empregou-se alvenaria convencional .....	38
Quadro 7 – Principais materiais empregados nos projetos de alvenaria estrutural .....	42
Quadro 8 – Vantagens da aplicação da alvenaria estrutural .....	44
Quadro 9 – Geração de resíduos da construção civil em uma obra situada em Maringá/PR, onde foi aplicada a técnica construtiva de alvenaria estrutural .....	45
Quadro 10 – Aberturas na Alvenaria – Unidade em Alvenaria Estrutural .....	57
Quadro 11 – Resíduos da Construção Civil gerados na obra onde empregou-se alvenaria estrutural .....	58
Quadro 12 – Materiais com maior geração de RCC na obra onde empregou-se alvenaria estrutural .....	63
Quadro 13 – Aberturas na Alvenaria – Unidade em Alvenaria Convencional.....	67
Quadro 14 – Resíduos da Construção Civil gerados na obra onde empregou-se alvenaria convencional.....	68
Quadro 15 – Materiais com maior geração de RCC na obra onde empregou-se alvenaria de vedação .....	73
Quadro 16 – Composição percentual da geração de RCC nas duas obras analisadas neste estudo, seguindo a classificação da Resolução CONAMA nº 307/2002; Resolução CONAMA nº 431/2011.....	80

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

ABREMA – Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, (ABREMA).

AE – Alvenaria Estrutural

AV – Alvenaria de Vedação

BA - Bahia

CNI - Confederação Nacional da Indústria

CONAMA - Conselho Nacional do Meio-Ambiente

DS - Desenvolvimento Sustentável

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

Fbk - Resistência Característica do Bloco

FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICC - Indústria da Construção Civil

MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

PE – Pernambuco

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PIB - Produto Interno Bruto

PMCMV – Programa Minha Casa, Minha Vida

PR - Paraná

RCC - Resíduos da Construção Civil

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

RS - Rio Grande do Sul

SINIR - Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 PROBLEMÁTICA	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 HIPÓTESES	15
1.5 OBJETIVOS	16
1.5.1 Objetivo geral	16
1.5.2 Objetivos específicos	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA	17
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	21
2.3 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS	35
2.3.1 Projetos em Alvenaria Convencional	35
2.3.2 Projetos em Alvenaria Estrutural	40
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>47</b>
3.1 DEFINIÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO	49
3.2 COLETA DE DADOS E SISTEMATIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES	52
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>54</b>
4.1 ALVENARIA ESTRUTURAL (AE)	54
4.2 ALVENARIA DE VEDAÇÃO (AV)	64
4.3 COMPARATIVO ENTRE AS DUAS OBRAS	74
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>89</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A urbanização brasileira foi um dos processos mais afetados pela progressão acirrada da industrialização em território nacional, uma vez que a transmutação súbita do modelo econômico ocasionou uma variação demográfica substancial entre os zoneamentos rurais e as urbes. Dessa forma, parâmetros essencialmente relacionados passaram a encontrar-se em defasagem, tais como o saneamento, a infraestrutura urbana, a mobilidade, e, sobretudo, o acesso à moradia. Em relação a isso, Oliven (2010) e Maia *et al.*, (2020) destacam que a elevação da disparidade entre as desigualdades de acesso aos serviços básicos destacados promoveu um ambiente propício à investigação para o desenvolvimento de soluções aplicadas que promovessem a mitigação das problemáticas elencadas.

Por conseguinte, é neste cenário, pois, que se insere à Indústria da Construção Civil (ICC) que opera mediante suas três principais divisões: serviços especializados da construção; obras de infraestrutura; e projetos de edificações para assegurar que a transformação do espaço em derredor à população atinja aos critérios estabelecidos para conforto, eficiência, eficácia, produtividade e sustentabilidade. Além disto, as atividades desenvolvidas exercem representatividade fundamental ao promover a capitalização de recursos para o Produto Interno Bruto (PIB) nacional, promoção de vínculos empregatícios formais e beneficiários indiretos, e incentivo à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de novas tecnologias (Confederação Nacional da Indústria, 2024).

Entretanto, apesar da importância preconizada para a ICC, as diversas técnicas construtivas que foram, e que ainda são, empregadas para a consolidação efetiva dos projetos desenvolvidos resulta na geração de resíduos sólidos, segundo a categoria de material base utilizado na obra considerada. Quanto a isso, Pimentel (2013) e Alves (2015) salientam que a ICC é um dos setores que mais degrada o meio-ambiente, e que, portanto, é um dos que mais demanda por atenção neste sentido, uma vez que os altos custos operacionais e os riscos envolvidos são fatores de grande relevância.

Em corroboração para com os supracitados autores, Silva (2017) e Souza *et al.* (2019) afirmam que a geração de resíduos sólidos da construção civil é uma temática de grande importância. Os autores destacam que devido aos variados impactos ambientais já ocorridos,

concomitantemente aos custos associados ao trabalho da ICC, deve-se haver melhor gestão do montante produzido, de forma que possa haver a mitigação, a reutilização, a reciclagem ou destinação correta.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a construção civil é responsável por aproximadamente 50% dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Em 2020, estimou-se que o país gerou cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos da construção civil (RCC). Ainda, segundo o IBGE, os RCC são compostos, em média, por 50% de materiais inertes, como concreto e tijolos, 25% de materiais recicláveis, como metais e plásticos, e 25% de materiais orgânicos e outros resíduos não recicláveis. Em 2018 segundo um levantamento da Associação Brasileira Para a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (ABRECON), o Brasil registrou uma taxa de reciclagem de RCC em torno de 15%, embora a meta estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) seja de aumentar essa taxa significativamente, considerando práticas mais sustentáveis. A gestão inadequada de RCC gera custos para os municípios, que podem variar entre R\$ 1,5 a R\$ 3,0 bilhões por ano em destinação inadequada e limpeza urbana, segundo o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos publicado em 2012 pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Uma gestão eficiente poderia economizar até 30% desses custos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sancionada em 2010, estabelece que todos os municípios devem ter planos de gerenciamento de resíduos, visando a redução da geração de RCC e a implementação de práticas de reciclagem e reutilização.

Dessa forma, torna-se de grande importância a análise do comportamento da geração de resíduos da construção civil face às variadas técnicas construtivas que podem ser empregadas, no ensejo último de promover a maximização da eficiência operacional, econômica e ambiental dos projetos considerados. Além disto, conforme destaca Bazzo e Pereira (2006) e Kawano (2016), compete ao profissional, ou acadêmico, de engenharia investigar os principais fatores correlatos à uma situação que representa dificuldades, de maneira a otimizar investimentos, reduzir tempo operativo e mitigar a geração de RCC.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

No que tange à temática proposta para este estudo, a construção de edificações emprega uma técnica construtiva conhecida como Projetos em Alvenaria, que consiste, em

essência, na utilização de blocos, sejam estes cerâmicos ou de concreto, para fins estruturais e de vedação. Dessa forma, por se tratar de um tipo específico de técnica, onde a própria edificação deve suportar a si mesma, a precisão e a eficácia preconizam-se como elementos indispensáveis à execução do empreendimento (Trevisan *et al.*, 2012; Camargos e Guido, 2017; Prado *et al.*, 2022).

Neste contexto, portanto, compreender o comportamento da geração de resíduos em Projetos de Alvenaria, bem como seus comparativos com técnicas similares dentro do segmento de construção de edificações, é de suma relevância, de maneira a garantir a perfeita execução dos procedimentos no canteiro de obras, a destinação correta dos resíduos gerados, a maximização operacional e a redução dos custos associados (Pedro *et al.*, 2018; Lara e Pillonetto, 2016; Reis, 2016).

Sendo assim, salienta-se a seguinte pergunta-problema, que fornecerá o direcionamento para a pesquisa proposta: qual das técnicas construtivas geram maior quantidade de resíduos sólidos da construção civil, projetos que empregam alvenaria convencional (vedação) ou os que utilizam blocos de concreto vazado para fins estruturais?

Certamente, a indagação supracitada pode ser de resolução relativamente simples. Na Alvenaria Estrutural, por se tratar de uma edificação de caráter modular, onde os blocos são dispostos em sobreposição ordenada, a produção de resíduos tende a ser ínfima, ou até inexistente, dependendo da harmonia entre as diferentes etapas do projeto. Já na alvenaria convencional, é natural esperar uma maior geração de resíduos, entretanto, tal volume pode ser substancialmente mitigado, conforme as técnicas construtivas empregadas. Entre as soluções disponíveis, pode-se adotar a modulação dos blocos, permitindo seu encaixe sistemático, e o uso de "meios blocos", evitando, assim, a necessidade de quebrar as peças para adequá-las aos cantos e encontros das paredes, por exemplo. De qualquer forma, essas questões serão analisadas e detalhadamente abordadas ao longo deste estudo comparativo.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O Desenvolvimento Sustentável (DS) é um conceito de grande relevância para a conjuntura socioeconômica atual, uma vez que, por meio de sua aplicação sistematizada pode-se analisar a viabilidade de determinado empreendimento, bem como as ações corretivas necessárias para que o mesmo se torne viável. Este intento pode ser alcançado mediante seus

três pilares, a saber, o econômico, o social e o ambiental, que compõem a tríade conceitual da sustentabilidade. Dessa forma, em se tratando da geração de RCC, salienta-se o primeiro aspecto de grande relevância que justifica a temática em questão (Ferreira, 2021; Brito *et.al*, 2021; Franzin e Leite, 2022).

Além dos critérios estabelecidos pelos pilares do DS, o Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), filiado ao Ministério do Meio Ambiente e Mudança Climática (MMA), salienta, em seu relatório de 2019, que mais de 115 (cento e quinze) milhões de toneladas de resíduos foram gerados no Brasil, em decorrência das atividades da ICC, sendo que cerca de 10% foram recuperados. Com isto, tem-se o segundo aspecto relevante que justifica essa pesquisa, pois, face ao indicador percentual demonstrado, é de extrema importância investigar o comportamento de geração desses resíduos, de maneira a mitigar o volume/massa gerado (SINIR, 2021).

Ademais, outro fator de essencial consideração, que também se preconiza como elemento para a pesquisa em questão, é o aspecto associado aos custos do manejo dos resíduos sólidos gerados nos projetos de edificação, caso os gestores não se atentem à administração correta. Sobre isto, Silva (2017) destaca que o gerenciamento impróprio pode custar milhares de reais, e que o mesmo montante poderia ser convertido em recursos para dinamização do projeto executado, caso houvesse sido adequadamente administrado.

#### 1.4 HIPÓTESES

No que concerne às hipóteses para a elaboração da presente pesquisa, têm-se as seguintes:

- a) **Hipótese 01:** o montante total de resíduos sólidos gerados em projetos de edificações necessita de otimização.
- b) **Hipótese 02:** a aplicação das técnicas convencionais de alvenaria para erigir uma edificação promove maior geração de resíduos que a alvenaria estrutural, de forma que a terceira hipótese caracteriza-se como a síntese da segunda pela aplicação do logicismo hipotético.

- c) **Hipótese 03:** os custos associados ao manejo dos RCC podem ser convertidos em recursos que possibilitam a dinamização das atividades desenvolvidas no canteiro de obras.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo geral

Quantificar os resíduos provenientes de empreendimentos da construção civil, em função das técnicas construtivas adotadas, sendo o escopo deste estudo os projetos em alvenaria convencional (vedação) e em alvenaria estrutural em unidades residenciais térreas.

### 1.5.2 Objetivos específicos

- a) Identificar qual técnica construtiva promove maior geração de resíduos em projetos residenciais de um pavimento;
- b) Identificar quais materiais geram volume ou massa semelhantes de RCC, independentemente da técnica construtiva utilizada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA

A Indústria da Construção Civil (ICC) possui grande importância para a conjuntura socioeconômica moderna, uma vez que desempenha uma parcela significativa da captação de valor para o Produto Interno Bruto (PIB). Além disto, a ICC possui influência substancial na qualidade de vida da população, visto que seus empreendimentos transformam o espaço em derredor, promovendo uma série de benefícios tangíveis e intangíveis à comunidade (Cunha, 2022; CNI, 2023).

No contexto brasileiro, a ICC, de acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI), é subdividida em três principais categorizações: de acordo com sua finalidade, quanto à transformação do espaço em derredor e influência sobre a infraestrutura urbana (CNI, 2023).

Sendo assim, têm-se:

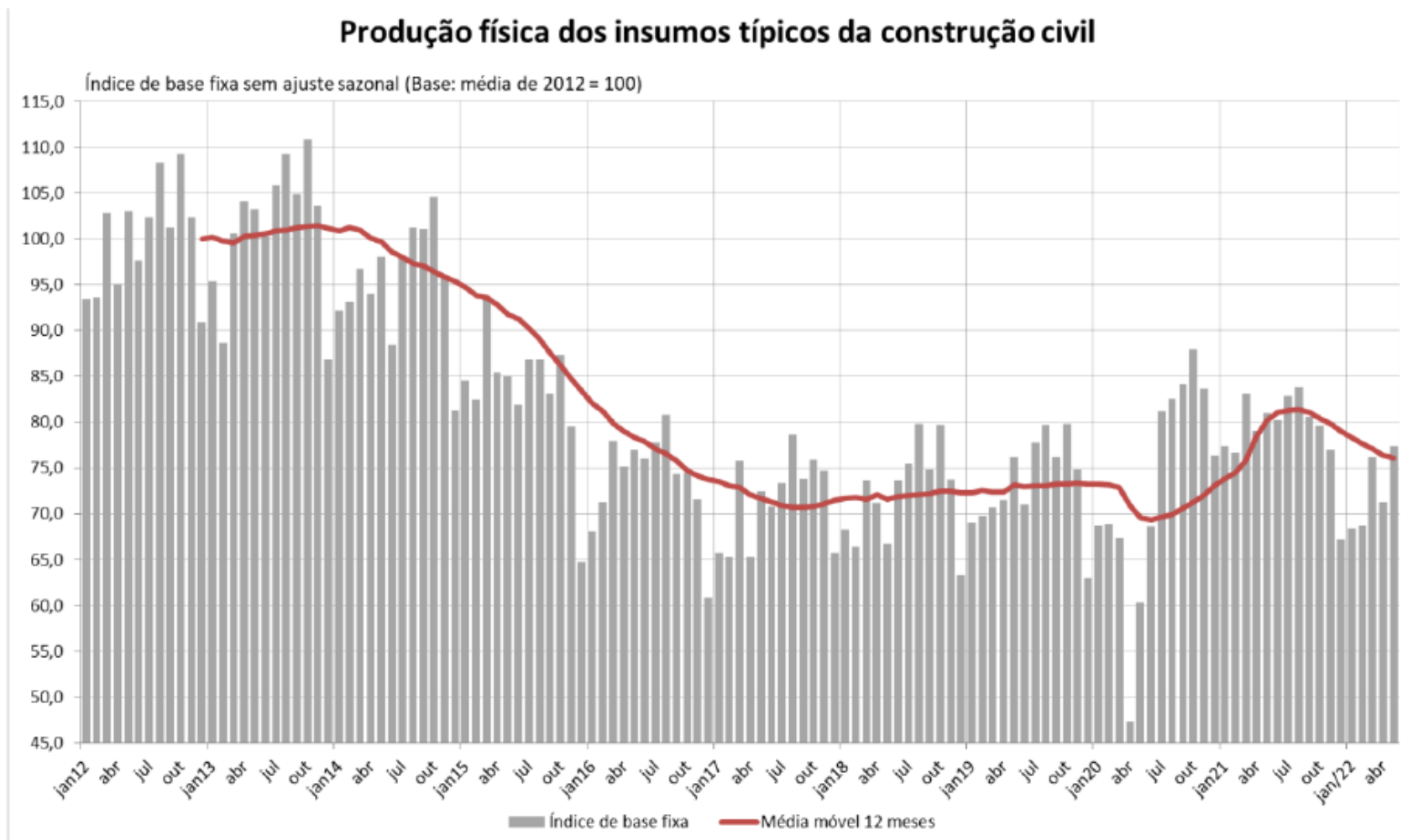
- a) **Construção de edificações:** consiste na projeção e construção de diversos tipos de edifícios nos setores residencial, comercial, agropecuário e industrial. Além disto, também compreende as tarefas necessárias para a construção e manutenção de casas, e outras estruturas, como abrigos temporários.
- b) **Obras de infraestrutura:** as obras de infraestrutura são um segmento da ICC que compreende a projeção e construção de rodovias, aeroportos, portos, e outros elementos que se caracterizam como essenciais para o funcionamento da sociedade. Outro tipo de projeto que se encontra inserido nesta categorização são os serviços de infraestrutura, como o abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, oleodutos, gasodutos, dentre outros, bem como a respectiva manutenção, transformação e ampliação dos mesmos.
- c) **Serviços especializados para a construção civil:** de uma maneira geral, esta segmentação da ICC fornece a execução das atividades de apoio necessárias para o êxito dos projetos concernentes aos segmentos anteriormente destacados. Em vista disto, tem-se para esta divisão o aplainamento de terrenos,

a construção de andaimes, concretagem de certas estruturas, montagem de fôrmas, serviços de tratamento térmico e acústico, e etc.

Em se tratando das informações destacadas, de acordo com Cunha (2022), a ICC possui uma variedade significativa de técnicas que são empregadas nas mais diversas finalidades, de maneira que a mesma possui elevado potencial de dinamização quanto aos parâmetros que influencia. Além disto, o autor também salienta que uma abordagem consideravelmente relevante para a análise da efetividade do setor em questão é a avaliação da eficiência dos produtos relacionados, no ensejo de mensurar e analisar o rendimento dos mesmos face a sua finalidade.

Por conseguinte, observa-se na Figura 1 a análise quantitativa da produção dos insumos para a construção civil em território nacional, de acordo com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP, entre os anos de 2012 e 2022.

Figura 1 - Volume de produção dos insumos da construção civil no Brasil entre os anos de 2012 e 2022



Fonte: FIESP (2022)

Conforme pode ser observado na Figura 1, entre os anos de 2012 e 2015 a produção de insumos e materiais para a ICC no Brasil estava no auge. Em seguida, com uma retração nas indústrias de base, houve um decréscimo na produção, o que também influencia sobremaneira no balanceamento da demanda. Então, nos anos subsequentes, houve uma aparente estabilização, seguido de um leve incremento no volume de insumos entre os anos de 2020 e 2021. Todavia, observa-se uma nova derrocada a partir de meados de 2021, possivelmente explicada pela redução das atividades em decorrência da pandemia de Covid-19, que impactou o mundo inteiro.

Com base nestes resultados, entende-se que a Indústria da Construção Civil sofreu uma retração considerável, impactando sumariamente outros aspectos da sociedade que são diretamente dependentes de sua assertividade e precisão. Em corroboração a isto, Souza (2021) declara a importância da produção de materiais que analisam o rendimento da ICC.

Neste contexto, conforme expressa Kawano (2016), compete ao profissional de engenharia a devida investigação dos principais fatores correlatos a uma determinada situação eventualmente problemática que o mesmo tenha identificado, de maneira a mitigar as dificuldades elencadas. Em complemento, Bazzo e Pereira (2006) salientam que os profissionais de engenharia devem analisar o cenário circundante a uma situação de interesse, de maneira a propor uma nova solução ou, até mesmo, uma abordagem diferenciada, com base em fontes assertivas, no ensejo último de promover o melhoramento da comunidade por meio da aplicação tácita de seus conhecimentos.

Quanto a isso, considerando que Souza (2021) e Cunha (2022) promovem a análise da efetividade da ICC por meio da avaliação paramétrica de seus insumos no âmbito da produção, uma abordagem diferenciada seria averiguar o aproveitamento destes materiais por meio da identificação dos resíduos sólidos gerados como resultante da consolidação dos projetos de construção, configurando uma avaliação com foco no Desenvolvimento Sustentável e Logística Reversa.

De acordo com Britto et al. (2015), Schamne (2016) e Marcello (2019), os conceitos de sustentabilidade e logística reversa podem impactar significativamente a dinamização da Indústria da Construção Civil (ICC) e dos projetos em que são aplicados, promovendo a elevação da eficiência operacional, a otimização de custos e o fortalecimento da responsabilidade ambiental.

Nesse contexto, a avaliação da geração de resíduos permite extrair inferências relevantes sobre as atividades da construção civil, em consonância com as vantagens analíticas propostas por Cunha (2022). Entre essas inferências, destaca-se a possibilidade de analisar a origem e a quantidade de resíduos, o que viabiliza a identificação de processos que geram desperdício excessivo e a implementação de práticas para sua redução. Além disso, a adoção de estratégias como a reutilização de materiais e a reciclagem contribui para a diminuição do consumo de insumos e dos custos associados ao descarte.

## 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

No decorrer do desenvolvimento da sociedade, como uma entidade integrada, faz-se necessária a execução de diversas atividades para a transformação do espaço em derredor, de maneira a prover melhores condições de acessibilidade, mobilidade, por exemplo, com a finalidade de assegurar o melhoramento da qualidade de vida da população. Por conseguinte, são gerados materiais que, comumente, são descartados, aos quais dá-se a alcunha de resíduos (Santaella *et al.*, 2014; Tullio *et al.*, 2019; Andrade *et al.*, 2020).

No Brasil, a preocupação com os resíduos da construção civil começou a ganhar relevância a partir da década de 1990. Esse movimento foi impulsionado pelo aumento significativo da geração de resíduos decorrente do crescimento urbano e da construção civil. A falta de destinação adequada para esses materiais levou a uma conscientização crescente sobre os impactos ambientais, sociais e econômicos desse tipo de resíduo.

Um marco importante foi a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicada em 2002, que estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Essa resolução foi um passo fundamental para regulamentar a correta destinação, reutilização e reciclagem dos resíduos gerados por obras e demolições no Brasil.

No que tange à Indústria da Construção Civil e suas atividades, compreende-se como resíduo sólido, de acordo com o Conselho Nacional do Meio-Ambiente (CONAMA):

[...] os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico,

vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Em consonância com a Resolução do CONAMA, entende-se que os Resíduos da Construção Civil (RCC) podem ser compreendidos como os rejeitos que são gerados pelos variados processos necessários para a finalização de determinado projeto relacionado às segmentações da ICC. Dessa forma, devido à grande importância deste setor para o Brasil, conforme anteriormente salientado, bem como a essencialidade desta abordagem, torna-se sumariamente relevante a sapiência quanto ao método mais adequado de se lidar com estes materiais, bem como, as possibilidades de reutilização e comercialização.

Complementando, estes resíduos configuram-se como elementos de suma relevância de análise, devido à alta probabilidade de impacto na comunidade como um todo, uma vez que a geração excessiva, ou mesmo o manejo incorreto destes materiais, pode resultar em diversos agravos ambientais, sociais e econômicos. Sendo assim, apresenta-se o Quadro 1, com a classificação dos RCC no Brasil regulamentada pela Resolução CONAMA nº 307/2002 e complementada pela Resolução CONAMA nº 431/2011, bem como a destinação recomendada dos mesmos.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos da Construção Civil

<b>CLASSE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>
<b>A</b>	São considerados como materiais passíveis de reutilização ou reciclagem os resíduos provenientes de diversas fontes, como: 1) aqueles resultantes de atividades como construção, demolição, reformas e reparos de obras de infraestrutura; 2) os gerados durante os processos de construção, demolição, reformas e reparos em edificações, que englobam componentes cerâmicos como tijolos, blocos, telhas, revestimentos, assim como argamassa e concreto; 3) os oriundos da fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, produzidos nos canteiros de obras.	Esses materiais devem ser redirecionados para processos de reutilização ou reciclagem, sendo transformados em agregados, ou então encaminhados para aterros específicos de resíduos classe A, destinados à conservação desses materiais para usos prospectivos. Essa abordagem reflete uma estratégia congruente com a gestão ambientalmente sustentável de resíduos, enfatizando a otimização do aproveitamento de recursos e a redução do impacto ambiental decorrente de descartes inadequados.
<b>B</b>	Os resíduos suscetíveis de serem submetidos a processos de reciclagem são destinados a propósitos alternativos, englobando	Esses materiais devem ser direcionados para procedimentos de reutilização, reciclagem ou encaminhados para áreas temporárias de armazenamento, sendo

	categorias diversas como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.	organizados de modo a facilitar sua utilização ou reciclagem em etapas subsequentes. O encaminhamento para áreas de armazenamento temporário implica não apenas em uma pausa no ciclo de vida desses materiais, mas também na criação de condições propícias para a futura aplicação de métodos sustentáveis.
<b>C</b>	Os resíduos em questão são aqueles para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que possibilitem eficientemente a sua reciclagem ou recuperação. Este cenário evidencia a necessidade premente de pesquisa e inovação no desenvolvimento de métodos sustentáveis para o tratamento dos mesmos. Nesse segmento podemos destacar o isopor, por exemplo.	Acondicionamento, transporte e destinação desses materiais devem ser conduzidos em estrita observância às normas técnicas específicas estabelecidas. A execução dessas atividades em consonância com as regulamentações contribui para assegurar a integridade dos materiais, a eficácia dos processos logísticos e, por conseguinte, para a mitigação de potenciais impactos adversos ao meio ambiente.
<b>D</b>	Resíduos perigosos provenientes do ciclo construtivo, destacando-se substâncias como tintas, solventes, óleos, e outros elementos nocivos à saúde. Além de rejeitos contaminados ou prejudiciais, provenientes de processos de demolição, reforma e reparo, particularmente nas esferas de clínicas radiológicas e instalações industriais. Além disso, abrangem materiais como telhas e outros objetos contendo amianto ou componentes similares que possuem alta probabilidade de contaminação.	No que tange aos materiais que se encontram sob esta classificação, segundo a resolução 448/2012 da CONAMA, os mesmos devem atender aos mesmos critérios estabelecidos para aqueles sob o regime classificatório C.

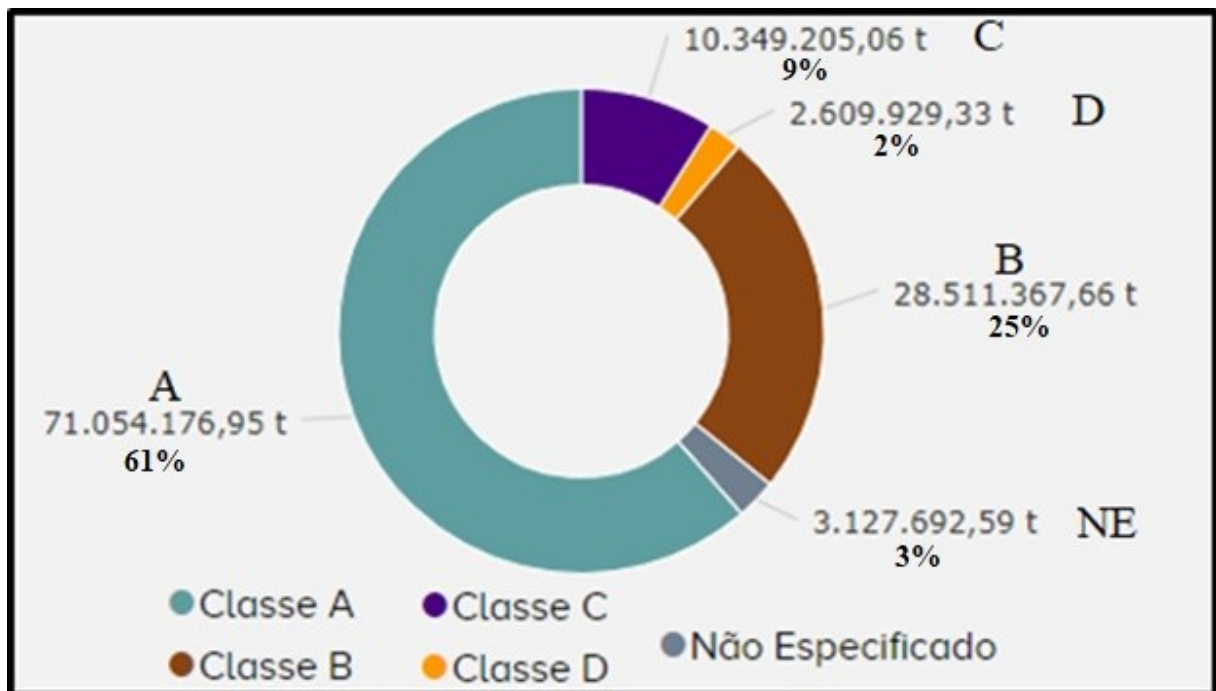
Fonte: Adaptado. Resolução CONAMA nº 307/2002; Resolução CONAMA nº 431/2011.

Em suma às considerações elencadas no Quadro 1, compreende-se que a preocupação em relação à minimização da geração de resíduos na construção civil é uma questão de longa data e, há algum tempo, tem sido reconhecida como um desafio considerável e uma preocupação substancial. Pinto (1999) estimava que os resíduos provenientes das atividades de construção e demolição constituíam uma parcela significativa, cerca de 86% da massa total de resíduos gerados no Brasil. Cerca de duas décadas depois (Silva, 2018), destaca que esses resíduos, ainda, representam uma parcela significativa do lixo gerado nos centros urbanos,

podendo chegar a até 60% em alguns municípios brasileiros. Diante desse cenário, o setor de Resíduos Sólidos da Construção Civil se vê diante do desafio complexo de equilibrar sua atividade produtiva e lucrativa com os imperativos do desenvolvimento sustentável consciente (Pimentel, 2013; Silva, 2017; Pedro *et al.*, 2018).

Sendo assim, apresenta-se na Figura 2 a composição geral dos RCC gerados no ano de 2019, segundo o SINIR (2019).

Figura 2 - Composição percentual da geração de resíduos sólidos da construção civil no Brasil, referente ao ano de 2019, seguindo a classificação do CONAMA

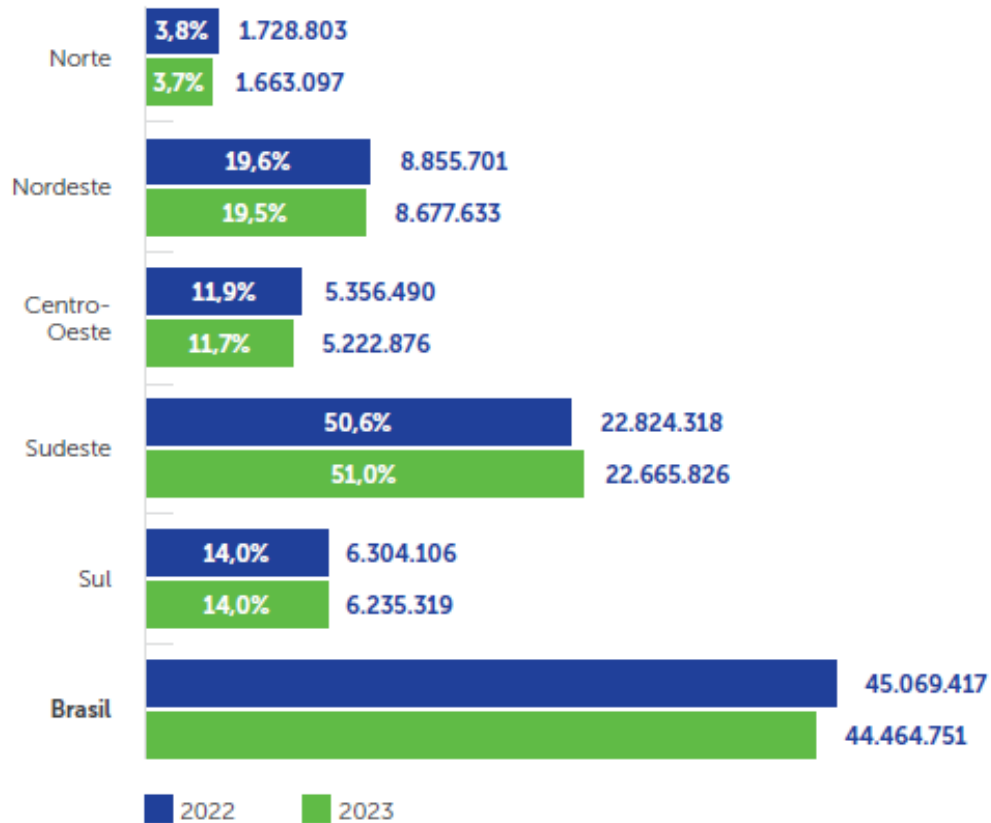


Fonte: Adaptado, SINIR (2021)

Conforme pode ser observado na Figura 2, os materiais de maior incidência percentual são os da classificação A, com representatividade de 61% do montante total gerado. Além disso, os de menor relevância, excluindo os não especificados, são os da classificação D, com apenas dois por cento de ocorrência. Neste cenário, infere-se, de acordo com Pimentel (2013), que devido à crescente essencialidade de adequação aos princípios do Desenvolvimento Sustentável, a Indústria da Construção Civil tem buscado adequar as práticas de geração e manejo de resíduos, porém ainda existindo espaço para melhorias.

Em vista disso, para fins de maior compreensão, apresenta-se a Figura 3, com o volume de resíduos produzidos no Brasil, por Região, segundo relatório da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA).

Figura 3 - Geração de RCC no Brasil e por grande região – comparativo 2022 e 2023 (toneladas)

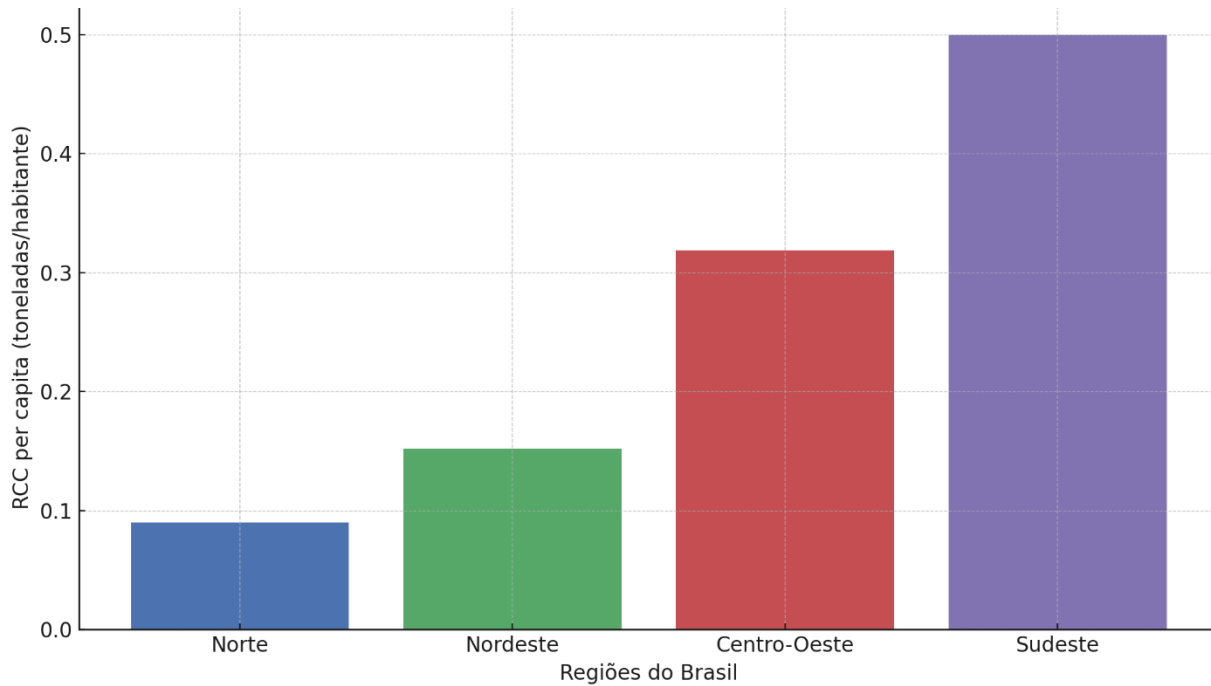


Fonte: Abrema (2024)

De acordo com as informações da Figura 3, tem-se que a Região Sudeste é a de maior representatividade absoluta de geração de resíduos, enquanto a Norte é a de menor expressividade. Este fato pode ser explicado, segundo Schamne (2016), pelo alto número de empreendimentos da ICC em atividade por localidade, o que resulta na geração superior destes materiais. No entanto, apesar da premissa ser assertiva quanto ao logicismo de inferência sobre a relação entre o número de obras em andamento e a quantidade de rejeitos resultantes, deve-se considerar, também, outro fator de suma relevância: a geração de resíduos relativa por obra.

A Figura 4 apresenta a geração de RCC per capita por grande região com base nos valores publicados pela ABREMA referentes ao ano de 2023.

Figura 4- Geração de RCC per capita no Brasil por grande região (2023)



Fonte: Autor, (2024)

A análise do gráfico de geração de RCC per capita no Brasil por região em 2023 evidencia disparidades significativas entre as diferentes áreas do país. De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023, a região Sudeste destaca-se com a maior geração de RCC por habitante, o que pode ser atribuído ao elevado nível de urbanização, ao alto volume de obras e à presença de grandes centros urbanos, como São Paulo e Rio de Janeiro. Esse cenário implica a necessidade de políticas públicas mais robustas para a gestão de resíduos, além de investimentos em práticas de logística reversa e em programas de reciclagem para mitigar os impactos ambientais e econômicos dessa elevada produção.

A região Centro-Oeste apresenta a segunda maior geração de RCC per capita, mesmo com uma população significativamente menor em comparação ao Sudeste. Esse comportamento pode ser explicado pelo crescimento acelerado da urbanização, impulsionado pela expansão do agronegócio e pelo aumento de empreendimentos imobiliários segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). A elevada produção de resíduos por habitante nessa região evidencia a importância de estruturar políticas de gestão mais eficientes, capazes de acompanhar o ritmo do desenvolvimento urbano e de minimizar os impactos gerados pela construção civil.

No Nordeste, a geração de RCC per capita é moderada, refletindo um equilíbrio entre a população elevada e um ritmo de crescimento urbano mais controlado em relação ao Sudeste

e ao Centro-Oeste. Apesar de apresentar números intermediários, a região possui potencial para a ampliação de práticas sustentáveis, como a reutilização de materiais e a reciclagem, o que poderia reduzir os custos de descarte e contribuir para a preservação ambiental (Paulino, 2023).

Por outro lado, a região Norte apresenta a menor geração de RCC por habitante. Esse resultado pode estar relacionado à menor densidade populacional e ao volume mais reduzido de grandes obras em comparação com as demais regiões. Embora a pressão imediata por políticas de gestão de resíduos seja menor, a tendência de crescimento urbano na região sugere a necessidade de planejamento antecipado para garantir uma gestão eficiente dos resíduos da construção civil no futuro.

Em síntese, a análise revela uma variação expressiva na geração de RCC per capita entre as regiões brasileiras. As regiões Sudeste e Centro-Oeste, em particular, demandam maior atenção para o desenvolvimento de estratégias voltadas à redução, reutilização e reciclagem de resíduos, considerando o impacto significativo gerado pelas atividades da construção civil. A regionalização das políticas públicas, alinhada às especificidades de cada área, é fundamental para promover a sustentabilidade e a eficiência na gestão dos resíduos da construção civil em todo o país.

No que tange a análise sobre a eficiência da geração de resíduos, deve-se considerar o porte da obra – pequeno, médio, ou grande – além de se analisar, concomitantemente, a relação entre as técnicas construtivas empregadas, os tipos de materiais utilizados, e outros fatores mais, de forma que estratégias eficientes sejam implementadas de maneira eficaz, não levando somente em consideração montantes absolutos sem contextualização de sua ocorrência (Santaela *et al.*, 2014; Tullio *et al.*, 2019; Andrade *et al.*, 2020).

Em relação ao porte das obras, as definições podem variar dependendo de fatores como a legislação local, o órgão regulador e os critérios específicos de cada projeto. Em geral, essas classificações consideram aspectos como área construída, complexidade técnica e impacto ambiental.

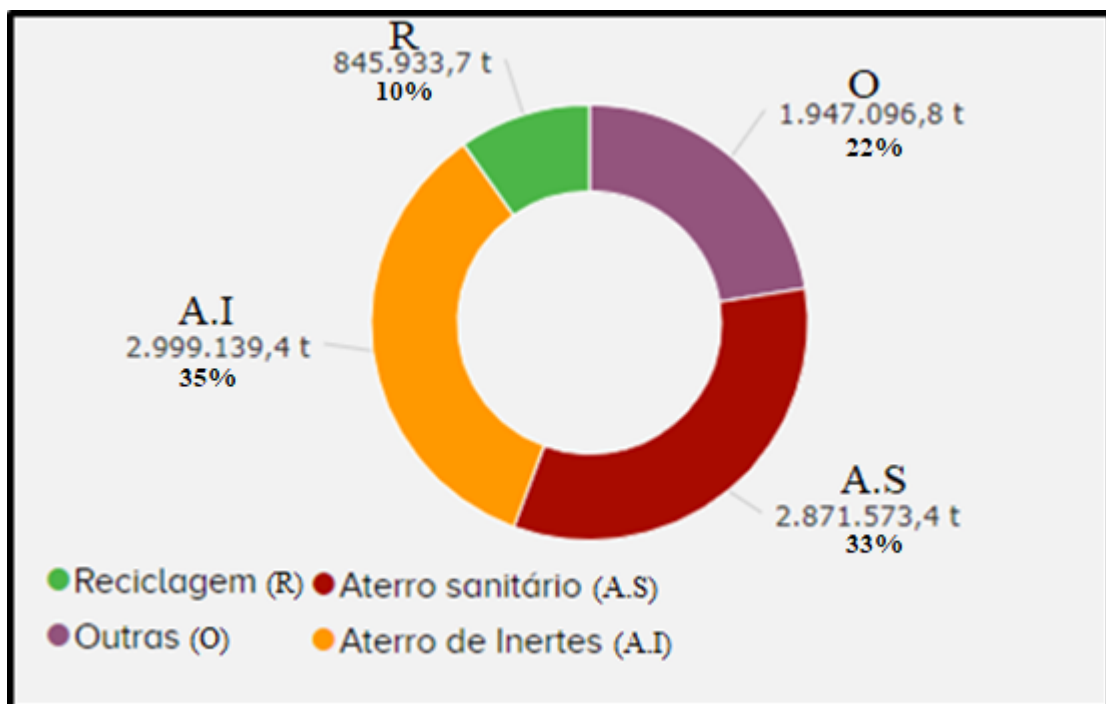
Sendo assim adota-se, geralmente, no Brasil:

- a. **Obras de Pequeno Porte:** Até 500 m<sup>2</sup> de área construída, geralmente dispensadas de licenciamento ambiental, salvo em áreas de preservação ou zoneamentos especiais. Baixa complexidade, com métodos tradicionais e simples, (casas térreas ou sobrados, pequenos comércios, reformas internas ou ampliações menores etc.).

- b. **Obras de Médio Porte:** Entre 500 m<sup>2</sup> e 3.000 m<sup>2</sup> de área construída. Sujeitas a licenciamento ambiental simplificado, dependendo da localização e impacto. Médio nível técnico de complexidade, com estruturas mistas (concreto, aço). Enquadram-se nesta condição: prédios residenciais com até 5 andares, galpões comerciais, pequenas escolas entre outros.
- c. **Obras de Grande Porte:** Área construída acima de 3.000 m<sup>2</sup> com licenciamento ambiental completo - Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), conforme requisitos legais. Alta complexidade, envolvendo tecnologias avançadas e equipes multidisciplinares. Exemplos: edifícios corporativos e residenciais com mais de 15 andares, infraestruturas públicas (estradas, viadutos, metrô) e grandes instalações industriais.

Ademais, outro fator de ponderação para esta temática é a destinação dos resíduos. Quanto a isso, observa-se a Figura 5 com os dados relativos ao tipo de finalização e o índice percentual de ocorrência com base no relatório do SINIR para o ano de 2019 no país.

Figura 5- Disposição final dos resíduos sólidos da construção civil segundo o SINIR para o ano de 2019



Fonte: Adaptado, SINIR (2019)

Com base na Figura 5, pode-se observar que a maior parte dos resíduos sólidos gerados pela ICC são destinados à aterros de inertes, ou seja, um reservatório temporário para posterior

manuseio, com representatividade de 35% de ocorrência. Este fato, inicialmente, pode representar um cenário positivo, entretanto, considerando que o índice de recuperação nacional é de cerca de 10% para os resíduos, e que a reciclagem é o final de menor expressividade, concomitantemente ao aterro sanitário que possui a segunda maior relevância, salienta-se um ambiente propício a análises sistêmicas para as mudanças adequadas (SINIR, 2019; Souza *et al.*, 2019).

A destinação final “Outros” se refere a formas de destinação que não estão classificadas diretamente nas categorias tradicionais, mas que ainda seguem normas e regulamentações ambientais. Dentre as quais pode-se destacar:

- **Formas alternativas de reaproveitamento:** Uso experimental ou inovador de resíduos, como na produção de artefatos ou em projetos de pesquisa.
- **Aterros não específicos para RCC:** Disposição em aterros industriais ou locais aprovados para resíduos mistos que aceitam RCC.
- **Coprocessamento:** Uso dos resíduos como combustível alternativo em fornos industriais, como na produção de cimento.
- **Disposição em áreas não convencionais:** Locais aprovados excepcionalmente por órgãos ambientais para finalidades específicas, como recuperação de áreas degradadas.
- **Exportação ou transferência:** Quando os resíduos são transferidos para locais fora do município ou estado para processamento, tratamento ou disposição final.
- **Reciclagem indireta ou secundária:** Destinações que não se encaixam em categorias específicas, mas reaproveitam os resíduos em processos secundários (por exemplo, fabricação de componentes alternativos).

Os dados apresentados têm como base informações fornecidas por 651 municípios que reportaram ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e por outros 470 municípios que declararam ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR). No entanto, é importante destacar que esses números representam apenas uma parcela dos municípios brasileiros, excluindo mais de 79% deles. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil possui um total de 5.570 municípios, o que evidencia que uma parcela significativa ainda não está contemplada nos sistemas de coleta

e monitoramento de dados mencionados. Essa limitação deve ser considerada na interpretação dos resultados, uma vez que eles não representam integralmente a realidade nacional.

Nesse contexto, a gestão eficaz dos resíduos na construção civil não se restringe à otimização das práticas operacionais, mas também demanda a implementação de estratégias alinhadas aos princípios da sustentabilidade. Ademais, a necessidade premente de uma abordagem mais eficiente e responsável na gestão desses materiais é evidenciada, apontando para a urgência em adotar medidas que não apenas minimizem os impactos ambientais, mas também promovam uma transição para práticas mais sustentáveis no setor (Alves, 2015; Schamne, 2016; Marcello, 2019).

Em complemento a isso, segundo Silva (2017), apresenta-se no Quadro 2, o perfil de geração dos resíduos sólidos da construção, por material, bem como o percentual de incidência.

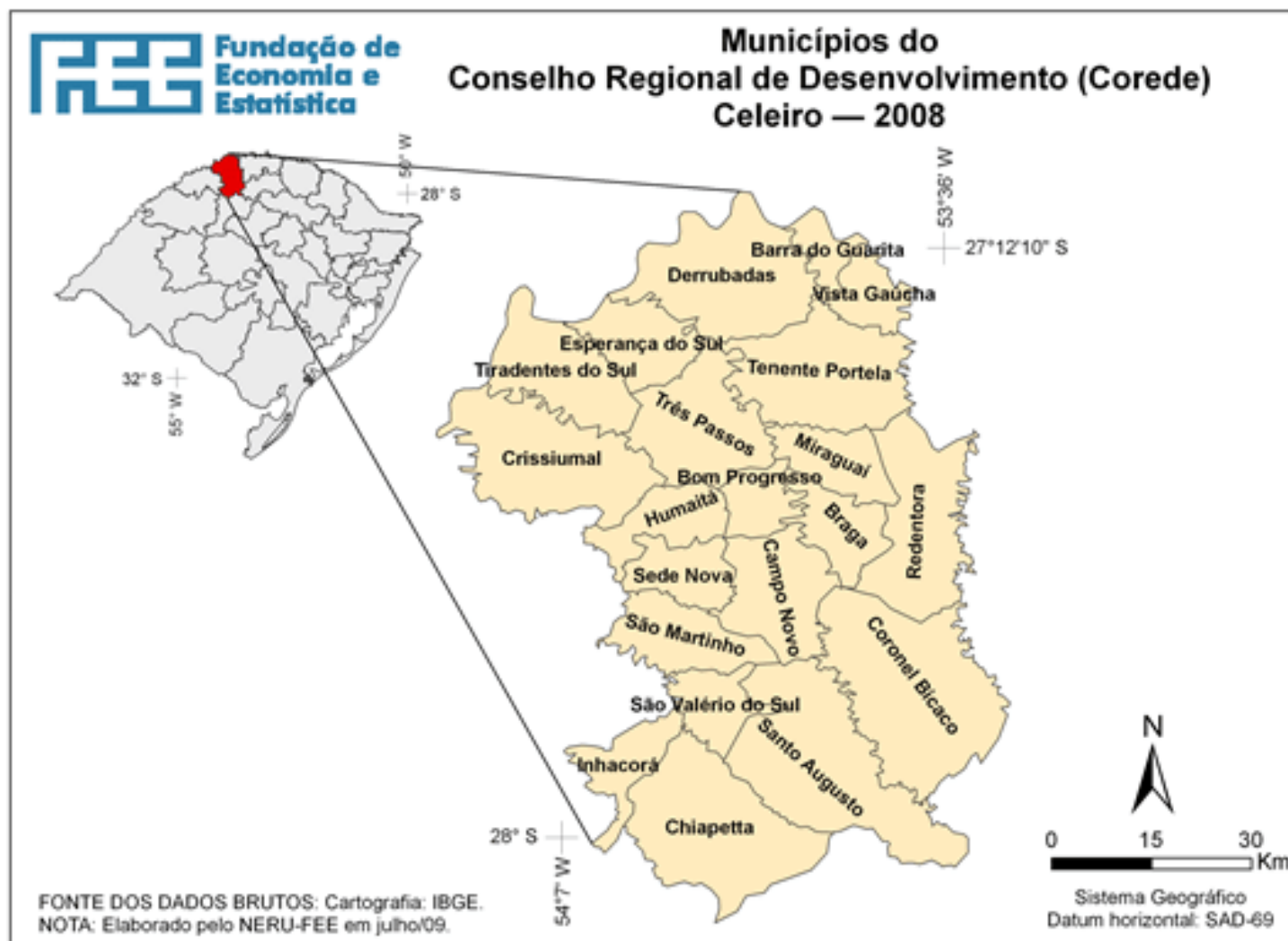
Quadro 2 – Perfil de geração dos RCC por material e percentual de incidência

Componente	Peso (t)	%	Classificação
Argamassa	905,5	29,20	A
Outros	656,8	21,18	C
Solo/areia	488,1	15,74	A
Gesso	250,3	8,07	B
Cerâmica vermelha	221,4	7,14	A
Cerâmica branca	174,6	5,63	A
Pedra	136,4	4,40	A
Madeira	81,6	2,63	B
Telhas de cimento amianto	63,0	2,03	D
Papel	33,1	1,07	B
Papelão	20,8	0,67	B
Concreto	19,9	0,64	A
Mármore	17,4	0,56	A
PVC	9,3	0,30	B
Plástico mole	8,4	0,27	B
Brita	7,4	0,24	A
Metal	3,1	0,10	B
Lata de tintas e derivados	2,8	0,09	D
Vidro	0,9	0,03	B
Plástico duro	0,3	0,01	B
Total	3.101,10	100	

Fonte: Adaptado, Silva (2017)

O estudo fora realizado junto à Região Celeiro, Figura 6, no Rio Grande do Sul, a qual é composta por 21 municípios.

Figura 6- Mapa dos 21 municípios que compõem a Região Celeiro/RS



Fonte: Fundação de Economia e Estatística (2016)

Conforme pode ser observado no Quadro 2, a maioria dos elementos rejeitados no canteiro de obra constituem-se sob a categorização A e B (76,7%), o que demonstra o elevado potencial de reutilização e reciclagem, de forma a reduzir não somente os impactos ambientais associados, mas, também, mitigar custos excessivos.

O estudo de Santos (2015) mostrou que há potencial para otimizar e reutilizar recursos, como observado no Quadro 3. O autor realizou uma pesquisa bibliográfica sobre o tema e analisou a relação entre o projeto de alvenaria e a geração de resíduos de construção civil nas fases de estrutura e acabamento. A análise abrangeu oito obras, realizadas entre 2010 e 2014, na cidade de Recife, PE.

Quadro 3 – Custos com a destinação dos resíduos da construção civil em quatro diferentes projetos analisados em duas diferentes construtoras em Recife/PE.

<b>Construtora</b>	<b>Obra</b>	<b>Área Construída (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Resíduo Gerado (Kg)</b>	<b>Resíduo Gerado (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Custo da Destinação</b>
<b>1</b>	1A	6.127	474.000	77,36	R\$ 16.590,00
	1B	6.031	204.000	33,83	R\$ 7.140,00
	1C	13.706	255.000	18,60	R\$ 8.925,00
	1D	9.460	431.000	45,56	R\$ 15.085,00
	<b>TOTAL</b>				
<b>2</b>	2A	7.058	972.000	137,72	R\$ 34.020,00
	2B	6.225	954.000	153,25	R\$ 33.390,00
	2C	14.062	765.000	54,40	R\$ 26.775,00
	2D	3.738	2.151.000	575,44	R\$ 75.285,00
	<b>TOTAL</b>				

Fonte: Adaptado, Santos (2015)

O Quadro 3 apresenta dados que mostram que a construtora 2 gerou uma quantidade de resíduos e custos significativamente maiores em comparação com a construtora 1. Essa diferença levanta questionamentos sobre as práticas operacionais adotadas por cada construtora

na execução de suas obras. Uma análise mais detalhada indica que a construtora 2 utiliza métodos tradicionais para a execução da alvenaria, que tendem a gerar maior desperdício de materiais e blocos. Já a construtora 1 utiliza o chamado projeto para produção de alvenaria (PPA) que além de especificar todos os materiais necessários para a execução do serviço, indicam o posicionamento dos elementos como blocos, vergas, contravergas, caixas de passagens para instalações, eletrodutos, juntas de argamassas e dimensões das aberturas para instalação das esquadrias, no intuito de reduzir as quebras e rasgos na alvenaria (Santos, 2015).

A construtora 1 executou suas obras com a chamada *Alvenaria Racionalizada*, a qual tem como principais características a utilização de blocos de melhor qualidade, preferencialmente com furos na vertical para facilitar a passagem de instalações, planejamento prévio, treinamento da mão de obra, utilização de “meio bloco”, família de blocos com blocos compensadores (com tamanhos distintos) para evitar a quebra de peças na execução e proporcionar ajustes/correções na modulação da alvenaria, ocasionando redução drástica de desperdício de materiais, melhoria nas condições de limpeza e organização do canteiro de obras.

O estudo mostrou que o método tradicional de execução de obras, sobretudo, no levante da alvenaria, gera um aumento significativo na produção de Resíduos da Construção Civil (RCC), impactando diretamente os custos de seu gerenciamento. Demonstra, ainda, que há sim uma relação direta entre os custos de manejo e destinação dos resíduos, bem como os quantitativos de geração, com os parâmetros relativos às técnicas empregadas. Com isto, reforça-se a premissa de que se deve analisar de maneira relativa à ocorrência de geração em contraposição com outros parâmetros associados. (Pimentel, 2013; Santos, 2015; Pedro et al., 2018).

Nesse contexto, a análise comparativa das práticas e técnicas construtivas destaca a importância de estratégias eficientes na minimização de resíduos na construção civil, não apenas como uma questão de sustentabilidade ambiental, mas também como uma abordagem economicamente efetiva. A adoção de métodos mais eficazes na gestão de materiais e na redução de desperdícios pode não apenas mitigar os custos associados aos resíduos, mas também promover uma abordagem mais alinhada aos princípios de eficiência operacional e responsabilidade ambiental (Pimentel, 2013; Santos, 2015; Pedro *et al.*, 2018).

De fato, apresenta-se no Quadro 4 o índice de eficiência de redução da geração de resíduos da construção, segundo Pimentel (2013).

Quadro 4 – Índice de eficiência de redução da geração de resíduos da construção civil segundo estratégias já analisadas em empreendimentos diversos da ICC

<b>Atividades</b>	<b>Percentual (%)</b>
Melhoria no processo produtivo	49
Reúso dos RCC nos canteiros de obras	33
Melhoria nos projetos à serem executados	16
Outros	2

Fonte: Pimentel (2013)

Em se tratando das informações observáveis no Quadro 4, tem-se que a estratégia com a melhor representatividade percentual de redução na geração de resíduos é a melhoria do processo produtivo escolhido no projeto, com quase metade de aproveitamento efetivo. Com isto, pode-se inferir que o investimento técnico-operativo em meios que viabilizem a transformação eficaz, eficiente, produtiva e sustentável da metodologia de trabalho promove uma assertividade considerável quanto a esta temática em específico. Nesse contexto, é fundamental analisar os custos para a implementação das melhorias, avaliando a viabilidade de sua aplicação em cada empreendimento.

Outro fator notável é a reutilização dos resíduos da construção civil no próprio canteiro de obras, com impacto de 33% de efetividade. De fato, a possibilidade de empregar repetidas vezes um resíduo específico em algum processo pode ser eficaz no aspecto relativo ao RCC. Porém, deve-se haver especial consideração no que se refere à qualidade dos processos, em especial quando há a presença de procedimentos que englobam os serviços especializados da construção e infraestrutura, devido à natureza singular dos esforços solicitantes aos quais estas estruturas estão submetidas.

Além disso, Pimentel (2013) também destaca a importância relativa de 16% de impacto da melhoria dos projetos a serem executados para a redução dos rejeitos gerados ao longo da execução do empreendimento considerado. Esta prática, segundo o autor, busca a otimização global da obra, de maneira a categorizar todos os pormenores relacionados a mesma, e os alinhar com os princípios de legislações em vigor, paradigmas do Desenvolvimento Sustentável, e outros aspectos mais, que se preconizam como relevantes neste sentido.

Por fim, a opção demarcada como “outros” possui expressividade de apenas 2%, o que demonstra a eficácia das três primeiras ações elencadas. Contudo, embora pequeno, esse percentual não deve ser subestimado. Com isto, é salientado que a fim de haver a devida proposta de solução de redução, ou de manejo adequado dos resíduos gerados, deve-se estudar minuciosamente o comportamento de produção destes materiais, de maneira a investigar quais planos são mais efetivos em função das segmentações previamente elencadas para este âmbito.

Certificando este estudo, Tullio *et al.* (2019) afirmam que, a configuração geral das técnicas utilizadas, em concomitância com as práticas de gerenciamento implementadas na obra realizada, possui um impacto considerável não somente no volume produzido, mas também nos recursos financeiros despendidos para se lidar com esta situação. Outrossim, Andrade *et al.* (2020) ressaltam que outro fator que corrobora para o cenário supramencionado é a capacitação dos envolvidos no processo, bem como o senso de recompensa associado às suas atividades. Reconhecendo e valorizando suas contribuições por meio de bonificações, premiações entre outras gratificações genuínas, alinhadas com valores organizacionais, fomentando engajamento e satisfação.

No entanto, para Pedro *et al.* (2018), as técnicas construtivas empregadas são o maior fator de análise concomitantemente ao seu gerenciamento, pois, segundo os autores, os materiais que são utilizados, a taxa de rejeitos, o volume passível de produção, e outros indicadores, são associados às atividades desenvolvidas. Portanto, em vista disto, deve-se propor sim planos e estratégias de otimização dos projetos e procedimentos, mas com ênfase em quais métodos serão utilizados para a consolidação do projeto a ser realizado.

## 2.3 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

### 2.3.1 Projetos em Alvenaria Convencional

Em projetos convencionais de construção civil têm-se que os esforços solicitantes são direcionados à fundação e ao solo por meio dos elementos de concreto armado dispostos por meio das vigas, pilares e lajes, por exemplo. Com isto, estas estruturas fornecem o comporte para se resistir às cargas impostas, enquanto os blocos – sendo usualmente os cerâmicos – fornecem vedação e separação entre os ambientes.

Na conjuntura social e econômica do Brasil da contemporaneidade, de acordo com Vespasiano (2019), a Indústria da Construção Civil possui uma cultura amplamente difundida quanto à utilização da alvenaria de vedação como principal recurso tecnológico para a consolidação de seus projetos. Neste sentido, Cassar (2018) complementa, afirmando que este recurso possui tradições amplamente enraizadas, datadas de tempos de outrora, o que o constitui como o meio mais escolhido para utilização, em função de sua vastidão de adeptos à facilidade de acesso a materiais com custos mais baixos e à abundância de mão de obra especializada. Com isto, observa-se na Figura 7 um exemplo deste tipo de técnica construtiva.

Figura 7 - Exemplificação da alvenaria de vedação



Fonte: Oliveira e Lopes (2014)

Conforme pode ser observado na Figura 7, existem diversos materiais que são essenciais para se erigir uma edificação utilizando esta técnica construtiva. Sendo assim, de acordo com Sena Júnior e Carmo (2015), os principais materiais necessários estão discriminados no Quadro 5.

Quadro 5 – Principais materiais empregados nos projetos de alvenaria convencional

MATERIAL	DISCRIMINAÇÃO
CONCRETO	O concreto configura-se como uma mistura homogênea composta por cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo e ar, constituindo-se numa matriz complexa de materiais fundamentais para a engenharia civil. Além desses elementos essenciais, a introdução de aditivos químicos surge como uma prática viável para a alteração das propriedades básicas do concreto, conferindo-lhe características específicas e otimizando seu desempenho em diversas aplicações construtivas. Suas principais funções incluem - Suportar Cargas: O concreto é usado para suportar cargas de compressão, tornando-se o principal material em pilares, vigas e fundações, e Distribuir Esforços: Ele distribui as tensões geradas por cargas e peso próprio da edificação para as fundações.
ARGAMASSA	Uma argamassa é uma mistura de cimento, cal, areia e água, na sua composição básica, utilizada para a ligação dos blocos ou tijolos de uma parede de alvenaria e revestimento.
ARMADURAS	As armaduras do concreto consistem em barras de aço estrategicamente posicionadas nas estruturas, desempenhando um papel crucial na resistência e durabilidade. Esses elementos, também conhecidos como vergalhões, são incorporados para conferir ao concreto maior capacidade de suportar cargas de tração, uma vez que o concreto possui resistência limitada a este esforço solicitante. A associação entre o concreto e as armaduras dá origem ao <b>concreto armado</b> , que combina as propriedades complementares de ambos os materiais. Essa união resulta em um material com as seguintes características principais: alta resistência estrutural; durabilidade, versatilidade e custo-benefício.
FÔRMAS	As fôrmas para concreto referem-se às estruturas temporárias utilizadas para moldar o material durante o processo de construção, sendo geralmente feitas de madeira compensada, aço ou materiais plásticos. A função primordial das fôrmas é conter e dar forma ao concreto fresco, até que este atinja a resistência necessária para sustentar seu próprio peso e as cargas acidentais e permanentes.
BLOCOS	Os blocos utilizados na alvenaria convencional são usualmente feitos de material cerâmico, sinterizados em um sistema específico, de forma a atingir as propriedades preconizadas em norma. Além disso, possuem a função primordial de separação de ambientes e vedação do externo para o interno, podendo ser amplamente utilizados em diversas funções.

Fonte: Adaptado, Sena Júnior e Carmo (2015)

Em se tratando das informações dispostas no Quadro 5, Oliveira e Lopes (2014) declaram:

Mesmo sendo o método mais utilizado na construção de residências no Brasil até hoje, o sistema convencional apresenta deficiências. Por se tratar de um método artesanal, sua estrutura é totalmente moldada *in loco* e às vezes por não contar com mão de obra especializada, esse sistema acaba gerando uma perda de material, eficiência e tempo significativas em relação aos novos métodos de construção existentes no mercado atual.

No que tange às ideias expressas pelo supracitado autor, compreende-se que a alvenaria convencional possui um significativo índice de geração de resíduos da construção, o que afeta os preceitos anteriormente estabelecidos quanto ao Desenvolvimento Sustentável, eficácia operacional e dinamização econômica. De fato, Pedro *et al.* (2018) corroboram para com essa visão, uma vez que realizaram estudos sobre a produção de RCC em obras onde empregaram-se essa técnica, cujos resultados podem ser observados no Quadro 6. A edificação está localizada em Maringá/PR, possui uma área de 3.199,69 m<sup>2</sup> de construção. Composta por nove pavimentos, sendo um subsolo, térreo e sete pavimentos. O período total de execução foi de 10/2013 e término em 11/2015 ( $\cong$  2 anos). Para o estudo, os autores consideraram, apenas, as etapas de infraestrutura, superestrutura, vedação e emboço. Para infraestrutura e superestrutura foram utilizados concreto usinado e ferragens. Na parte de vedações foram utilizados tijolos cerâmicos, e para revestimento interno e externo, argamassa de revestimento à base de cimento.

Quadro 6 – Resíduos da Construção Civil gerados em uma obra situada em Maringá/PR, onde empregou-se alvenaria convencional

<b>Mês/Ano</b>	<b>Volume RCC (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>Peso RCC (ton/mês)</b>	<b>Resíduo Gerado (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
dez/13	0,0	0,00	0
jan/14	0,0	0,00	0
fev/14	0,0	0,00	0
mar/14	5,0	6,40	2
abr/14	25,0	32,00	10
mai/14	20,0	25,60	8
jun/14	15,0	19,20	6

jul/14	15,0	19,20	6
ago/14	5,0	6,40	2
set/14	20,0	25,60	8
out/14	15,0	19,20	6
nov/14	20,0	25,60	8
dez/14	25,0	32,00	10
jan/15	15,0	19,20	6
fev/15	25,0	32,00	10
mar/15	30,0	38,40	12
abr/15	5,0	6,40	2
mai/15	20,0	25,60	8
<b>Total</b>	<b>260,0</b>	<b>332,80</b>	<b>104</b>

Fonte: Adaptado, Pedro *et.al* (2018)

Conforme pode ser observado no Quadro 6, a geração de resíduos total foi de 260 m<sup>3</sup> em 26 meses, o que equivale a uma quantificação de 332,8 toneladas por igual período. Em termos de densidade, foram gerados 1,28 kg/dm<sup>3</sup>. Quanto a essa ocorrência, Pedro *et al.* (2018) salientam que uma variável que exerce impacto substancial nesse resultado é a necessidade de uma quantidade mais expressiva de argamassa de assentamento durante a execução da alvenaria convencional. Essa demanda pode resultar em situações de desperdício, tornando-se um aspecto fundamental a ser considerado na interpretação dos resultados obtidos, pois o aumento na exigência de argamassa de assentamento não apenas acarreta possíveis custos adicionais, mas também eleva as chances de perdas de materiais ao longo do processo construtivo.

Empregando a técnica da alvenaria convencional – desprovida de projeto de modulação, como amplamente é empregada, Spaniol (2018) complementa, afirmando que os blocos, usualmente os cerâmicos, resultam na geração de grande quantidade de RCC devido aos processos necessários para seu assentamento, conjuntamente com a quantidade de materiais demandados para esta finalidade. Por conseguinte, o autor declara que é de fundamental relevância conhecer as técnicas necessárias por trás deste procedimento, visando assegurar que sua execução ocorra com a máxima precisão e eficácia. Tal entendimento é crucial para mitigar desperdícios e reduzir a geração de Resíduos da Construção Civil (RCC).

### 2.3.2 Projetos em Alvenaria Estrutural

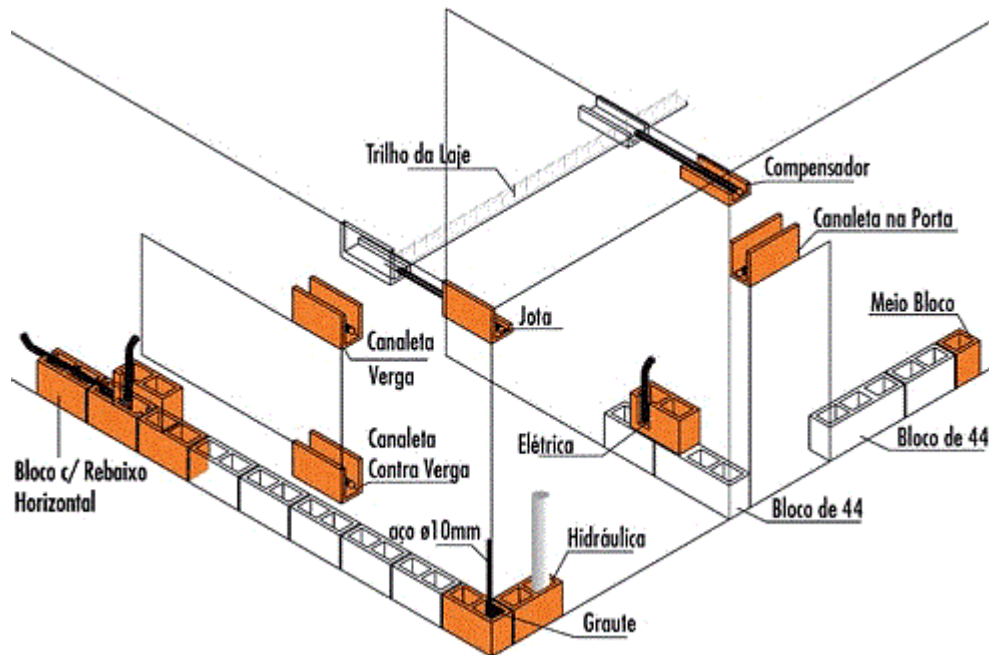
Quando se trata de projetos da ICC que empregam a técnica construtiva denominada Alvenaria Estrutural, não há a presença dos componentes destacados, (vigas e pilares), de forma que a própria modulação dos blocos – que normalmente para esta tipologia são os de concreto – mantém a estrutura erigida (Hashiguti, 2018; Kerst, 2018; Bastos, 2021).

Para a construção de edifícios utilizando alvenaria estrutural, é recomendável a utilização de blocos que atendam aos requisitos da norma NBR 6136:2016 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. É importante evitar o uso de blocos fabricados de maneira informal em canteiros de obras ou em fábricas que não atendam aos requisitos adequados. Esses blocos devem ter uma aparência homogênea e compacta, com bordas bem definidas, sem trincas e uma textura que permita uma aderência adequada aos revestimentos.

A resistência do bloco é especificada pelo parâmetro  $F_{bk}$ , (Resistência Característica à Compressão de Blocos de Concreto Vazados), sendo que o valor mínimo exigido para paredes internas e externas com revestimento é de 4,5 MPa, enquanto para paredes externas sem revestimento é de 6,0 MPa.

Quanto às dimensões, os blocos podem ser classificados em dois grupos principais: modulares - possuem um comprimento que é o dobro da largura mais a medida da junta; não-modulares - não há uma relação entre a largura e o comprimento. A Figura 8, apresenta algumas peças das famílias de blocos estruturais que são, geralmente, empregadas em um projeto da ICC.

Figura 8 - Componentes básicos de uma obra em Alvenaria Estrutural.



Fonte: Salema, (2014). Recuperado de <https://www.ceramicasalema.com.br/alvenaria-estrutural-e-seus-componentes-basicos/>

Observa-se na Figura 8, os três componentes básicos da alvenaria estrutural: modulação, grautes e amarrações, que visam tornar o sistema mais eficiente e econômico.

**Modulação:** Técnica essencial para o cálculo das dimensões da edificação, garantindo que sejam múltiplos do bloco utilizado. Isso evita desperdícios de materiais e, conseqüentemente, reduz custos.

**Grautes:** Microconcreto fluido, composto de pedrisco, cimento e areia, aplicado em pontos específicos para enrijecer a estrutura, preencher cavidades dos blocos e melhorar a distribuição de esforços.

**Amarrações:** Conexões, como a “Amarração em T,” entrelaçam blocos em alvenarias perpendiculares, consolidando o conjunto e distribuindo melhor o peso da edificação.

No Quadro 7, é apresentada uma relação dos principais materiais utilizados em projetos de alvenaria estrutural. Nele, estão listados os componentes que viabilizam a aplicação dos três elementos básicos mencionados anteriormente.

Quadro 7 – Principais materiais empregados nos projetos de alvenaria estrutural

MATERIAL	DISCRIMINAÇÃO
BLOCO	São os principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura, os mesmos podem ser maciços ou vazados. Maciços são aqueles que possuem um índice de vazios de no máximo 25% da área total, se os vazios forem maiores que esse limite, são considerados vazados.
ARGAMASSA	Uma argamassa é uma mistura de cimento, cal, areia e água, na sua composição básica, utilizada para a ligação dos blocos ou tijolos de uma parede de alvenaria. A principal função da argamassa é ser um adesivo que une os blocos, servindo para transferir esforços entre eles e acomodar pequenas deformações do conjunto. A argamassa de assentamento para alvenaria estrutural deve apresentar maior resistência à compressão – comparado à utilizada em alvenaria de vedação, para transferir as cargas da estrutura de maneira eficiente. Outra diferença crucial está relacionada à aderência entre os blocos e a argamassa para garantir o desempenho estrutural do conjunto.
GRAUTE	O graute é um tipo de microconcreto altamente plástico, caracterizado por sua fluidez, que é utilizado principalmente para aumentar a resistência à compressão das paredes, preencher vazios e unir elementos estruturais. Além disso, quando combinado com a inserção de armaduras em seu interior, o graute também ajuda a resistir aos esforços de tração que a alvenaria por si só não conseguiria suportar.
ARMADURA	Barras de aço que são utilizadas juntamente com o graute e têm como função combater os esforços de tração.

Fonte: Adaptado, Nonato, (2013)

Com base nos diferentes componentes presentes nas duas técnicas construtivas aqui abordadas, compreende-se que há uma série de diferenças entre os procedimentos construtivos empregados em ambos os casos, o que enseja uma diferenciação de substancial análise. Sendo assim, observa-se na Figura 9 uma imagem de um projeto da ICC realizado em alvenaria estrutural.

Figura 9 - Exemplificação de um projeto da ICC onde aplica-se a técnica de alvenaria estrutural



Fonte: Silva (2017)

Conforme pode ser observado na Figura 9, a alvenaria estrutural possui um sistema de amarração feito com blocos de concreto, enquanto armaduras de aço – vergalhões – são dispostos em espaços especificados em projeto. Após isso, o interior dos blocos é preenchido por um elemento denominado graute, que fornece resistência adicional à estruturação global. Dessa forma, o graute desempenha um papel fundamental na melhoria das propriedades estruturais das paredes, tornando-as mais capazes de suportar cargas e proporcionando maior segurança e estabilidade à construção. Reis (2016) descreve o graute como:

Em termos gerais é um micro concreto de alta plasticidade e auto adensável, porém as diferenças estão no tamanho do agregado – se for presente – e na relação água/cimento. São geralmente fluidos e autonivelantes e apresenta uma importante característica que é a retração controlada, esse controle na retração evita a separação entre o graute e as paredes internas dos blocos

Por conseguinte, no que concerne às ideias expressas pelo supracitado autor, bem como, as diferenças entre as técnicas de alvenarias abordadas neste trabalho, entende-se que tais diferenciações podem representar uma certa variedade de resultados e possibilidades, de maneira que se apresenta esta observância no Quadro 8, onde constam as principais vantagens do emprego da alvenaria estrutural, de acordo com Kerst (2018).

Quadro 8 – Vantagens da aplicação da alvenaria estrutural

VANTAGENS	DETALHAMENTO
ECONOMIA DE MATERIAIS	A alvenaria estrutural utiliza blocos que, além de servirem como elementos de vedação, também suportam as cargas da edificação, eliminando a necessidade de vigas e pilares. Suprimindo a necessidade de empregar moldes de madeira, resultando em uma redução significativa no consumo de concreto e ferragens. Essa abordagem não apenas otimiza a eficiência, mas também contribui para práticas construtivas mais sustentáveis. Além disso, as instalações hidráulicas e elétricas são alocadas nos vazios dos blocos o que reduz e/ou elimina a realização de cortes na parede, implicando em uma menor quantidade de material desperdiçado, o que se traduz em benefícios econômicos e ambientais ao longo do projeto. Entretanto, é importante considerar que os blocos estruturais apresentam um custo superior aos blocos cerâmicos de vedação. Dessa forma, a viabilidade econômica da implantação desse sistema deve ser precedida de uma análise técnica criteriosa, levando em conta fatores como o tipo de edificação, o orçamento disponível e os benefícios a longo prazo em termos de sustentabilidade e eficiência construtiva.
REDUÇÃO DA MÃO DE OBRA	Uma vez que o sistema prescinde da necessidade de utilizar formas e armações tradicionais, observa-se uma significativa redução na demanda por mão de obra especializada, como carpinteiros e armadores. Essa característica não apenas simplifica o processo construtivo, mas também implica em benefícios econômicos, ao diminuir os custos associados à contratação de profissionais específicos para a montagem de elementos estruturais convencionais.
MAIOR VELOCIDADE DE CONSTRUÇÃO	Quando a aplicação da alvenaria estrutural é integrada ao uso de lajes pré-moldadas, observa-se que o andamento da obra não está vinculado ao período de cura dos elementos, ao contrário das estruturas convencionais. Essa integração viabiliza um avanço mais expedito da construção, eliminando a necessidade de aguardar o tempo de cura dos elementos estruturais presentes na alvenaria de vedação.

Fonte: Adaptado, Kerst (2018)

No que tange às disposições elencadas no Quadro 8, compreende-se por inferência inicial que a utilização da alvenaria estrutural, em relação a temática em questão, pode resultar em uma quantidade consideravelmente inferior de geração de resíduos da construção, devido à natureza construtiva especificada. Todavia, apresenta algumas desvantagens que devem ser consideradas. Entre elas, destacam-se as restrições a mudanças não planejadas, a dificuldade de realizar improvisações, e a limitação na execução de grandes vãos e balanços. Além disso, essa técnica exige cuidados adicionais, como a elaboração detalhada e o estudo minucioso do

projeto, o manejo adequado dos materiais, bem como o treinamento e a supervisão da mão de obra. Durante a execução, especialmente em caso de chuva, é necessário proteger as paredes recém-assentadas com lonas plásticas para evitar danos.

No estudo realizado por Pedro et al. (2018), no que se refere à obra em alvenaria estrutural, a edificação, também localizada em Maringá/PR, possui uma área de 3918,92 m<sup>2</sup> de construção, composta por sete pavimentos, com 64 (sessenta e quatro) apartamentos. O período de execução fora de janeiro de 2016 a junho de 2018 ( $\cong$  2,5 anos). Para o estudo, os autores consideraram, apenas, as etapas de infraestrutura, superestrutura, vedação e emboço. Para a infraestrutura e superestrutura interna e externa foram utilizados concreto usinado, ferragem, madeira, bloco de concreto, graute, bonecas em tijolos cerâmicos e argamassa preta a base de cimento (utilizada no assentamento de blocos de cor escura, proporcionando um acabamento visual homogêneo sem necessidade camadas de acabamento). Para o revestimento das paredes foi utilizado argamassa de cal.

De posse dessas informações, tem-se os dados expressos no Quadro 9.

Quadro 9 – Geração de resíduos da construção civil em uma obra situada em Maringá/PR, onde foi aplicada a técnica construtiva de alvenaria estrutural

<b>Mês/Ano</b>	<b>Volume RCC (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>Peso RCC (ton/mês)</b>	<b>Resíduo Gerado (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
jan/17	5,0	6,40	2
fev/17	10,0	12,80	3
mar/17	5,0	6,40	2
abr/17	15,0	19,20	5
mai/17	5,0	6,40	2
jun/17	5,0	6,40	2
jul/17	10,0	12,80	3
ago/17	15,0	19,20	5
set/17	10,0	12,80	3
out/17	15,0	19,20	5
nov/17	5,0	6,40	2
dez/17	5,0	6,40	2

jan/18	5,0	6,40	2
fev/18	5,0	6,40	2
mar/18	25,0	32,00	8
abr/18	15,0	12,80	3
mai/18	25,0	32,00	8
jun/18	10,0	12,80	3
<b>Total</b>	<b>190,0</b>	<b>236,80</b>	<b>60</b>

Fonte: Pedro *et al.* (2018)

Conforme pode ser observado no Quadro 9, a geração de resíduos na obra de alvenaria estrutural para o período especificado foi de 190 m<sup>3</sup>, com uma massa total de 236,80 toneladas, suscitando uma densidade de 1,24 kg/dm<sup>3</sup>. Constituindo, assim, valores significativamente inferiores aos registrados na obra em alvenaria convencional (260 m<sup>3</sup>, 332,80 toneladas, 104 kg/m<sup>2</sup>), analisada pelos autores. Neste estudo observou-se uma redução de 42,3% na taxa de geração de resíduos por metro quadrado de área construída em alvenaria estrutural comparada à alvenaria de vedação. Neste contexto, conforme expressa Reis (2016), torna-se de suma importância sua análise e investigação, de maneira a otimizar ainda mais este cenário.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

No que se refere à pesquisa proposta neste documento, adotou-se uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. No aspecto qualitativo, foram realizadas investigações por meio de entrevistas semiestruturadas com os Engenheiros/Representantes das duas obras, visando compreender, ou mesmo saber se há Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), nas duas construções e como o manejo dos resíduos é realizado. Além disso, foram coletados dados de monitoramento da geração de resíduos em todas as etapas das construções, partindo dos serviços iniciais como limpeza do terreno e movimentação de terra até a conclusão das obras. Neste estudo, não serão considerados os muros que delimitam o terreno, focando exclusivamente nas residências e nos portões das fachadas dos imóveis. Isso se deve ao fato de que, em ambas as unidades, os muros foram construídos com estruturas compostas por pilares, vigas e blocos cerâmicos de vedação.

Na fase quantitativa, os resíduos gerados foram segregados por tipo de material e, com o auxílio de uma balança com precisão de 0,01g, foi realizada a aferição da massa de cada material, com os resultados sendo devidamente registrados. Para alguns materiais, como a areia, não foi possível coletar diretamente a parcela desperdiçada. No entanto, com base no volume adquirido junto à distribuidora e na quantidade efetivamente utilizada na obra, foi possível estimar o volume desperdiçado.

De posse dos valores da massa (kg) dos resíduos gerados ou volume (m<sup>3</sup>) total adquirido dos materiais, calculou-se o índice de geração de resíduos para cada obra. Esses cálculos possibilitaram a comparação da quantidade de resíduos produzidos em cada etapa do processo construtivo entre as duas obras e, conseqüentemente, a geração total de resíduos da construção civil por unidade habitacional. Os cálculos da geração de RCC para cada material foi realizado por meio da Equação 1.

$$G = \frac{P}{A} \quad \text{Equação 1}$$

$G$  = Taxa de Geração de RCC (kg/m<sup>2</sup>);

$P$  = Peso do resíduo gerado (kg);

$A$  = Área construída da residência analisada (m<sup>2</sup>).

A análise quantitativa permitiu identificar qual dos métodos construtivos—alvenaria de vedação ou alvenaria estrutural—gerou maior ou menor quantidade de resíduos.

As unidades residenciais analisadas, embora semelhantes em padrão construtivo e área construída, apresentam algumas diferenças técnicas. Destaca-se, além do método construtivo, a adoção da técnica de "junta seca" na alvenaria estrutural, em contraste com a utilização de alvenaria de vedação.

A técnica de "junta seca" consiste em posicionar os blocos justapostos, sem o uso de argamassa no contato vertical. Embora esse método aumente a produtividade no assentamento, ele não é recomendado para alvenaria estrutural, pois reduz a resistência às cargas laterais e compromete o isolamento acústico das paredes. Contudo, por se tratar de uma residência térrea, a aplicação dessa técnica não apresenta riscos estruturais significativos.

Outra diferença relevante entre as duas obras analisadas refere-se ao sistema de forro. Na unidade em alvenaria de vedação, o forro foi elaborado com um rebaixamento em gesso. Por outro lado, na obra em alvenaria estrutural, utilizou-se uma laje rebocada, refletindo diferenças na execução dos acabamentos e no volume de resíduos gerados em cada método construtivo.

A fim de garantir maior equidade na comparação dos resíduos de construção e demolição (RCC), foi utilizada a Equação 2, cujo objetivo é calcular a geração de RCC por área aplicada do material, visando corrigir possíveis inconsistências decorrentes da diferença nas áreas de alvenaria das duas unidades residenciais analisadas.

$$G = \frac{P}{AA}$$

Equação 2

$G$  = Taxa de Geração de RCC (Kg/m<sup>2</sup>);

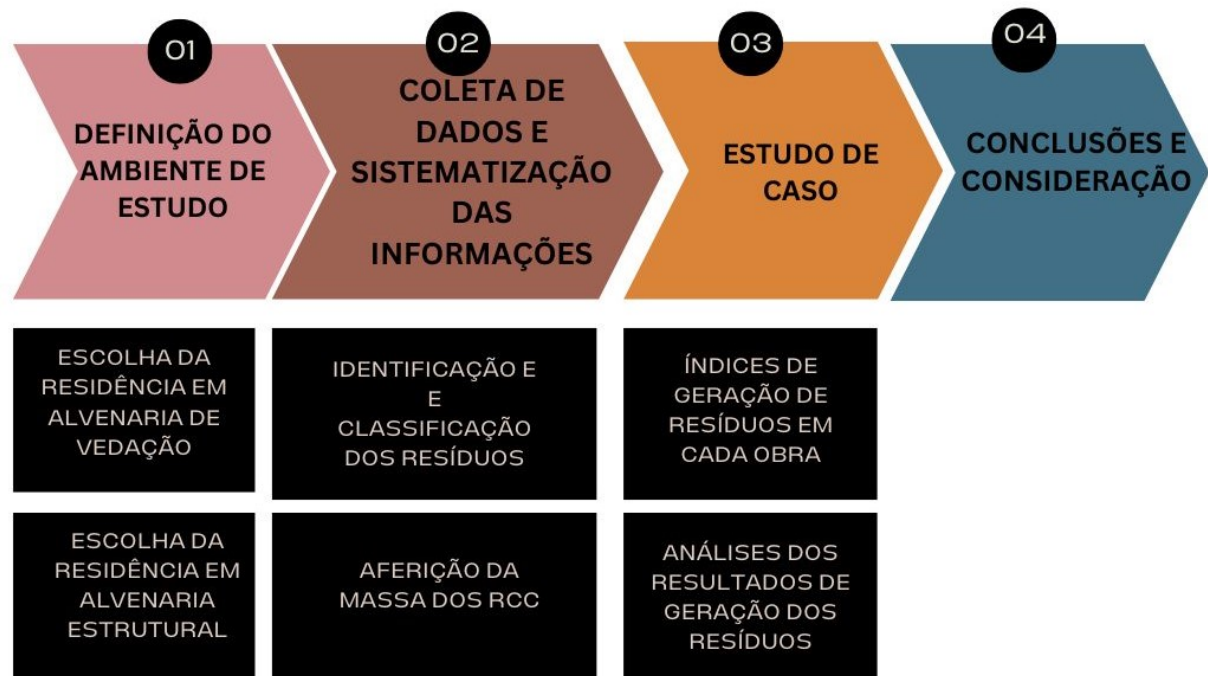
$P$  = Peso do resíduo gerado (kg);

$AA$  = Área de alvenaria edificada da residência analisada (m<sup>2</sup>).

Essa abordagem combinada —qualitativa e quantitativa— viabilizou uma compreensão abrangente do gerenciamento de resíduos sólidos nas obras estudadas, incluindo

tanto aspectos qualitativos, como procedimentos e práticas, quanto aspectos quantitativos, como volume e taxa de geração de resíduos, definida como a razão entre sua quantidade gerada, em unidade de massa, e a área construída. Na Figura 10 está apresentado o fluxograma, que norteou este trabalho.

Figura 10 - Fluxograma metodológico proposto



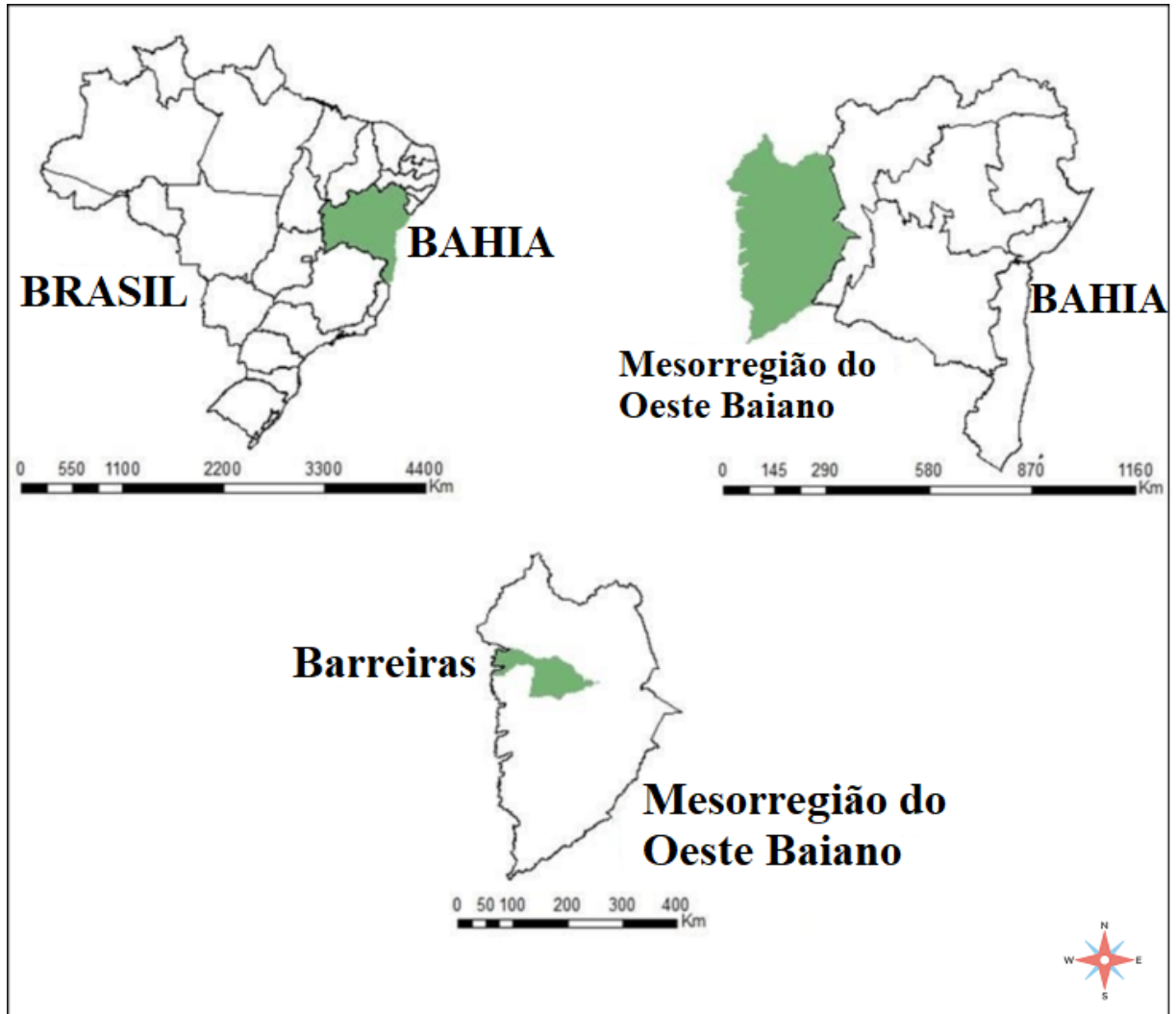
Fonte: Autor, 2024

As obras localizam-se no bairro Cidade Nova, na cidade de Barreiras, BA, e integram o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), do governo federal. Pertencem a construtoras distintas e ambas as unidades residenciais foram monitoradas desde o início da execução até suas respectivas conclusões, abrangendo o período de agosto de 2023 a março de 2024.

### 3.1 DEFINIÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO

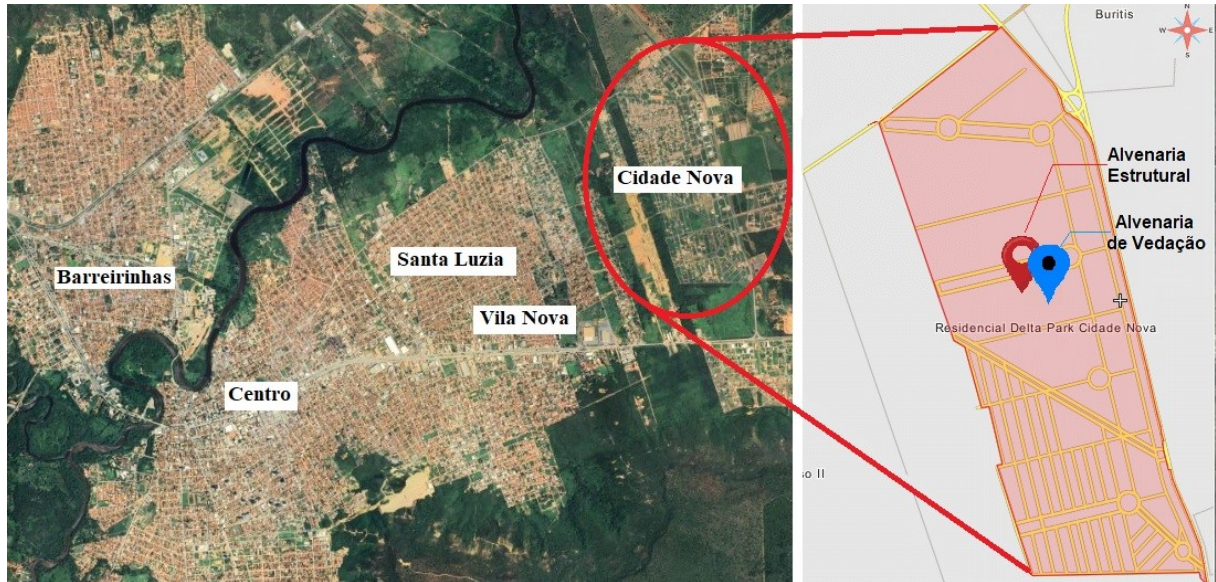
O estudo de caso sobre o qual analisou-se os dados fora conduzido no município de Barreiras, na Bahia, especificamente no bairro Cidade Nova. Na Figura 11 é apresentado o mapa de localização da cidade, enquanto na Figura 12 é indicada a área do bairro onde as obras estão situadas.

Figura 11 - Mapa de localização da cidade de Barreiras no estado da Bahia - Brasil



Fonte: Adaptado, IBGE (2024)

Figura 12 - Localização do bairro Cidade Nova em Barreiras – BA.



Fonte: Adaptado, WikiMapia (2024)

As duas residências serão investigadas no que tange à temática em questão. Neste sentido, uma edificação, localizada na Rua José Antônio Carmo, nº 985, emprega o método da alvenaria estrutural, e a outra, localizada na Rua Serena, nº 303, erigida em alvenaria convencional. As unidades apresentam layout arquitetônicos distintos. Observam-se as imagens do âmbito de estudo na Figura 13.

Figura 13 - Obras sob análise, sendo “A” onde emprega-se alvenaria estrutural e “B” a convencional



Fonte: Autor (2023)

### 3.2 COLETA DE DADOS E SISTEMATIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Os dados coletados para o estudo foram: a classificação do resíduo gerado, o montante total produzido, o tratamento e destinação destes rejeitos, o custo dessa operação, as estratégias de controle e gerenciamento utilizadas, as ferramentas empregadas para esta gestão e os fatores de projetos associados a estas obras. Em vista disto, o tratamento destes dados foi feito com base no método estatístico, segundo Almeida (2021). Tal método, pode incluir desde estatísticas descritivas, que resumem e descrevem características dos dados, até inferenciais, que permitem fazer previsões e inferências sobre uma população com base em uma amostra.

O método estatístico é uma abordagem científica que busca coletar, organizar, analisar e interpretar dados para apoiar a tomada de decisões e compreender fenômenos complexos. Esse método envolve as seguintes etapas:

- Definição do problema: Identificar claramente a questão a ser investigada. (Em qual dos projetos de alvenaria -vedação ou estrutural- há maior geração de RCC, tendo como análise unidades residenciais de um pavimento.
- Definição dos instrumentos de coleta: Escolher as ferramentas e métodos para coletar os dados. (Balanças)
- Coleta de dados: (Identificação, segregação e pesagem dos RCC gerados em ambas as unidades).
- Verificação e correção dos dados: Identificar e corrigir possíveis erros ou inconsistências para garantir a qualidade dos dados.
- Apuração dos dados: Organizar e resumir as informações para facilitar a análise.
- Apresentação dos dados: Exibir os resultados de forma clara, como em tabelas ou gráficos.
- Análise e interpretação dos dados: Examinar os resultados para identificar padrões, tendências ou relações significativas e interpretá-los em relação ao problema inicial.

A interpretação dos dados coletados baseou-se, ainda, segundo o método indutivo, de acordo com Lakatos e Marconi (2003). Para os autores o método indutivo consiste em um

processo de raciocínio que se baseia na observação de casos particulares para formular generalizações ou teorias. Os autores destacam algumas características importantes desse método: Observação e coletas de dados; formação de hipóteses; generalização; teste e verificação.

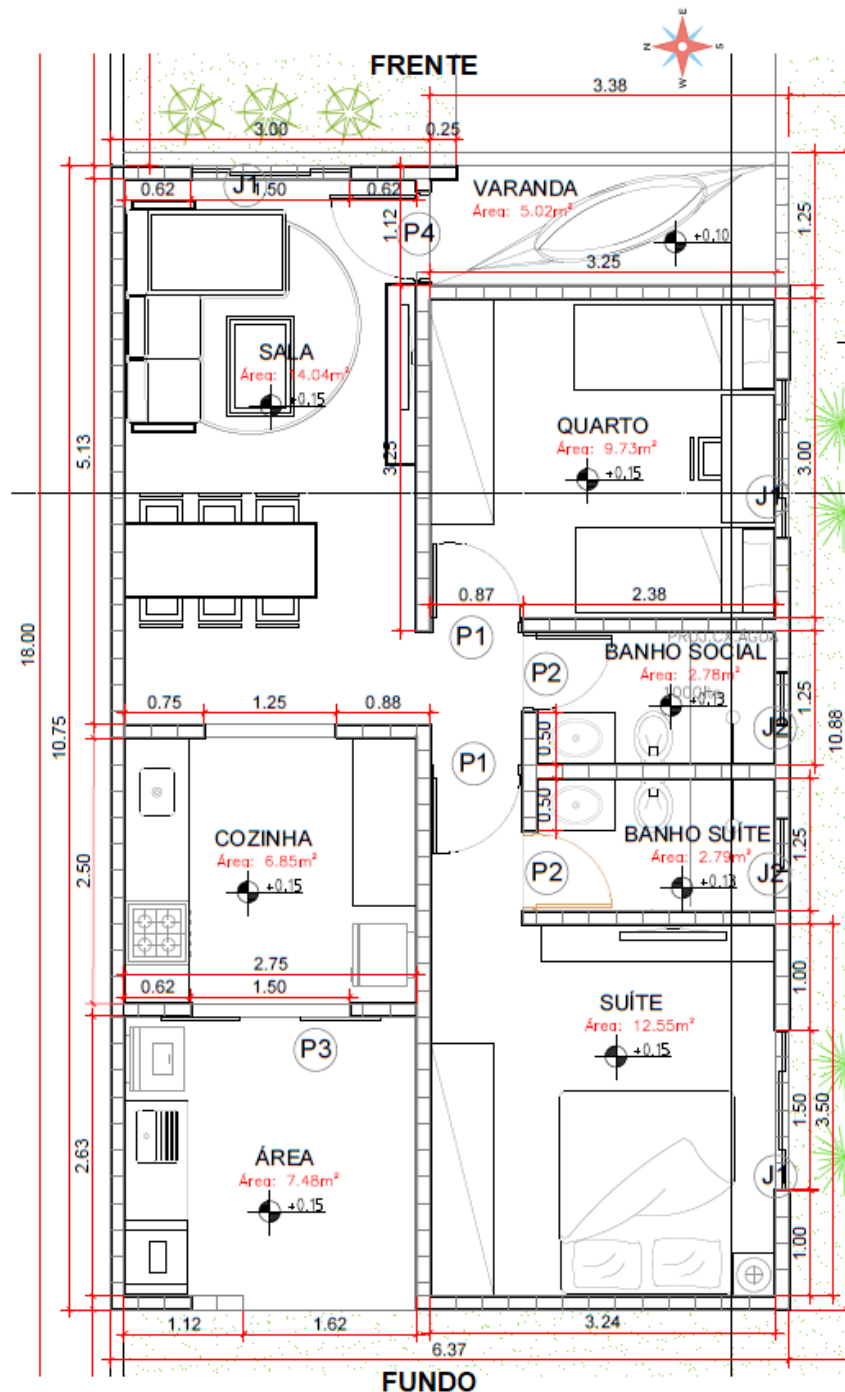
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ALVENARIA ESTRUTURAL (AE)

O imóvel apresenta uma área construída de 69 m<sup>2</sup>, situado em um terreno que possui 8 metros de largura por 18 metros de comprimento, totalizando uma área de 144 m<sup>2</sup>.

A planta baixa da edificação é apresentada na Figura 14.

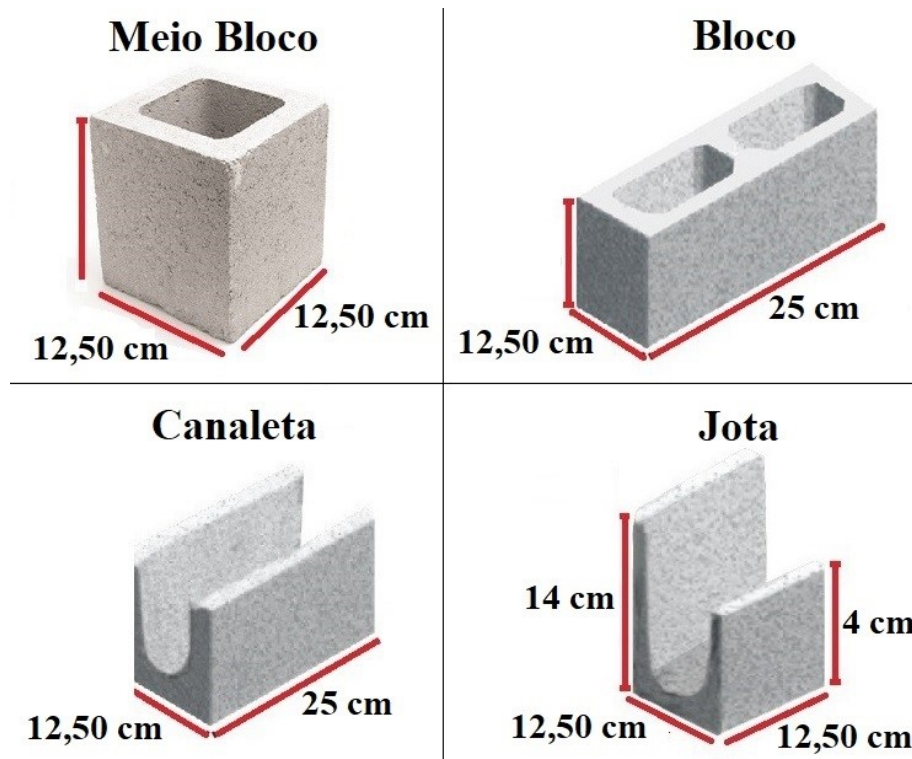
Figura 14 - Planta Baixa da obra em Alvenaria Estrutural



Fonte: Autor (2024)

A edificação apresenta fundação radier, utilizando a família de blocos estruturais de concreto com dimensões especificadas na Figura 15. A estrutura é composta por laje pré-moldada, preenchida com poliestireno expandido (EPS), e a cobertura é realizada com telhas de fibrocimento, sustentadas por um travejamento metálico.

Figura 15 - Modelo da família de Blocos Estruturais de Concreto utilizados na obra.



Fonte: Autor (2024)

Os blocos são utilizados na construção de paredes, enquanto os meios blocos são empregados para ajustes e modulação no comprimento das mesmas. Já os blocos canaleta são destinados à execução de vergas, contravergas e cintas de amarração. Por sua vez, os blocos do tipo "jota" são utilizados para acabamento e para o apoio de elementos estruturais, como, por exemplo, a laje da residência.

Para a construção desta unidade, foram alocados 2 pedreiros e 2 ajudantes, responsáveis pelas atividades de regularização do terreno, montagem e concretagem do radier, elevação da alvenaria, reboco e concretagem da laje. Os serviços hidráulicos e elétricos, bem como a execução da cobertura, assentamento de pisos e revestimentos, instalação de louças e pintura, foram realizados por prestadores de serviços terceirizados.

Para a execução do radier, com espessura variando entre 12 cm e 15 cm, foram utilizadas réguas metálicas para demarcar as paredes externas da edificação e realizar o rebaixamento do piso nas áreas molhadas, como nos banheiros, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Radier em processo de concretagem



Fonte: Autor (2023)

As paredes internas foram demarcadas utilizando linhas de pedreiro, fixadas em pontos específicos nas réguas que abrangem toda a edificação. As réguas, projetadas para serem reutilizáveis, são removidas e deslocadas para outros canteiros após a cura do concreto.

O processo de cura do concreto tem início aproximadamente três a quatro horas após a finalização da concretagem, quando a superfície apresenta resistência suficiente para não sofrer danos com a ação da água. O radier foi submetido a molhagens frequentes com auxílio de mangueiras ao longo de sete dias, com o objetivo de favorecer a hidratação do cimento e prevenir o surgimento de trincas e fissuras no piso.

Após o período de cura, iniciou-se o processo de impermeabilização das bases das paredes, etapa que consiste na aplicação de emulsão asfáltica, com o objetivo de criar uma barreira adicional contra a umidade.

Além disso, a utilização de lona plástica antes da concretagem do radier tem a função essencial de proteger o concreto durante o processo de cura. A lona reduz a perda de água, evita a contaminação do concreto pelo contato direto com o solo e bloqueia a umidade ascendente, prevenindo infiltrações no radier que poderiam causar problemas de umidade.

Para a concretagem da laje, foi empregado um processo semelhante ao utilizado na execução do radier. No entanto, neste caso, foram utilizados blocos do Tipo J como elementos de suporte para a laje, em conjunto com cintas de amarração. Essa abordagem contribuiu para a estabilidade da estrutura, eliminando a necessidade de madeiras como fôrmas.

Com o objetivo de considerar exclusivamente a alvenaria efetivamente construída, o Quadro 10 apresenta as dimensões das aberturas destinadas às esquadrias da residência.

Quadro 10 – Aberturas na Alvenaria – Unidade em Alvenaria Estrutural

<b>Abertura</b>	<b>Dimensões vão</b>	<b>m<sup>2</sup> abertura</b>	<b>Quantidade (un)</b>	<b>Total (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Porta (entrada)</b>	0,8 m X 2,10 m	1,68 m <sup>2</sup>	1	1,68
<b>Porta (dormitórios/corredor)</b>	0,88 m x 2,10 m	1,84 m <sup>2</sup>	3	5,52
<b>Porta (banheiros)</b>	0,75 m X 2,10 m	1,57 m <sup>2</sup>	2	3,14
<b>Porta (sala/cozinha)</b>	1,25 m X 2,10 m	2,62 m <sup>2</sup>	1	2,62
<b>Porta (cozinha/serviço)</b>	1,50 m X 2,10 m	3,15 m <sup>2</sup>	1	3,15
<b>Porta (serviço/quintal)</b>	1,62 m X 2,60 m	4,21 m <sup>2</sup>	1	4,21
<b>Janela (sala/dormitórios)</b>	1,50 m X 1,0 m	1,50 m <sup>2</sup>	3	4,5
<b>Janela (banheiros)</b>	0,50 m X 0,40 m	0,20 m <sup>2</sup>	2	0,40
<b>Total</b>				<b>25,22</b>

Fonte: Autor (2024)

Conforme a planta da residência apresentada na Figura 14, a unidade possui 60,54 metros lineares de alvenaria construída até a altura da laje. As paredes têm uma altura de 2,85 metros, medida da base até a face inferior desse elemento.

A platibanda da residência apresenta trechos com 40 cm e 90 cm de altura, além da estrutura que acomoda o reservatório hídrico, cuja altura é de 1,30 metros. No total, a planta conta com 104,98 metros lineares de alvenaria estrutural construída.

Após a realização dos cálculos, considerando as respectivas alturas das paredes e descontando as aberturas das esquadrias, a área total de alvenaria estrutural edificada na unidade corresponde a aproximadamente 172,28 m<sup>2</sup>

Para obter um resultado mais preciso, foi realizada a coleta de todos os Resíduos de Construção (RCC) gerados na obra, os quais foram classificados por tipo de material, conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002. O Quadro 11 detalha os RCC gerados, apresentando os componentes, peso, porcentagem em relação ao total, taxa de geração de resíduos e a respectiva classificação.

Quadro 11 – Resíduos da Construção Civil gerados na obra onde empregou-se alvenaria estrutural

Componente	Peso (kg)	%	Geração kg/m <sup>2</sup>	Classificação	Observações
Concreto	1.152	43,93	16,696	A	Resíduos da mistura
Argamassa	696,66	26,57	10,097	A	Resíduos da mistura
Areia	672,00	25,63	9,739	A	Não recuperada
Massa PVA/Acrílica	32,34	1,23	0,469	B	Material particulado
Blocos de concreto	21,00	0,80	0,304	A	Quebrados ou cortados
Cerâmicas	9,90	0,38	0,143	A	Quebradas ou trincadas
PVC	8,72	0,33	0,126	B	Cortes e sobras
Papel e Papelão	6,60	0,25	0,096	B	Embalagens de materiais
Metais (Ferragens)	5,94	0,23	0,086	B	Sobras
Plásticos	5,28	0,20	0,077	B	Embalagens e materiais
Madeira	4,62	0,18	0,067	B	Cunhas e apoios
Outros Resíduos	3,96	0,15	0,057	D	Não usados e sobras
Telhas fibrocimento	2,40	0,09	0,035	D	Cortes não aproveitados
Isopor	0,52	0,02	0,008	C	Quebrados/cortados
Latas de thinners	0,41	0,02	0,006	D	Usadas
<b>Total</b>	<b>2.622,35</b>	<b>100</b>	<b>38,005</b>		

Fonte: Autor. 2024.

O concreto utilizado na construção do radier, laje, vergas, contravergas, cintas de amarração e preenchimento dos furos dos blocos totalizou aproximadamente 16,20 m<sup>3</sup>. Deste volume, cerca de 0,97 m<sup>3</sup> não foi lançado no local planejado, sendo redirecionado para outras aplicações, como a regularização de calçadas. Dentre esse total, cerca de 0,48 m<sup>3</sup> (3% do volume total) foram efetivamente desperdiçados, devido à derramamento no transporte entre a betoneira e os pontos de lançamento, sobras nos carrinhos de mão e no próprio misturador. O volume de concreto perdido equivale a aproximadamente 1.152 kg do material seco, considerando a densidade média do concreto seco de 2.400 kg. Para ajustar os cálculos na tabela apresentada acima, esse valor foi dividido pela área construída da residência, que é de

69 m<sup>2</sup>. Ressalta-se, que para preenchimento dos furos dos blocos, o traço utilizado foi ligeiramente diferente visando, sobretudo, atingir uma maior plasticidade e fluidez na mistura, garantindo, dessa forma, o preenchimento completo dos espaços.

Em relação aos blocos estruturais, foram gerados cerca de 21 kg de resíduos. Esse montante refere-se a peças que foram danificadas durante o transporte interno e o assentamento, todavia, a maior fração é proveniente dos recortes para instalação das 41 caixinhas de luz, dos 11 pontos hidráulicos e dos 05 pontos de coleta de esgoto existentes na unidade. Encontrando a razão entre a quantidade de RCC gerado e a área construída de edificação (69 m<sup>2</sup>), estima-se uma perda de 0,304 kg/m<sup>2</sup>. Destaca-se que não é recomendado realizar cortes em blocos estruturais, uma vez que essa prática pode comprometer a integridade da estrutura do imóvel e colocar a segurança em risco. Contudo, cortes podem ser realizados caso estejam previstos no projeto, devidamente documentados e autorizados pelo responsável técnico. Além disso, é indispensável utilizar ferramentas apropriadas, como serras diamantadas, para garantir cortes precisos e minimizar os impactos na estrutura.

Na Figura 17, observa-se os recortes realizados nos blocos destinadas às instalações elétricas.

Figura 17 - Recortes realizados nos blocos para acomodar as caixas de luz 4x2 polegadas.



Os resíduos plásticos incluem embalagens de ferramentas e insumos da obra, assim como sobras de eletrodutos (corrugados e rígidos) utilizados para a instalação de redes elétricas e de lógica. A geração desse componente foi estimada em aproximadamente 0,077 kg/m<sup>2</sup>.

No que diz respeito à argamassa, estima-se uma perda de aproximadamente 10,097 kg/m<sup>2</sup>, resultando em uma geração total de 696,66 kg de RCC desse material.

Em relação aos resíduos metálicos, foram gerados 5,94 kg, o que corresponde a 0,086 kg/m<sup>2</sup> de área construída. A ferragem da obra foi previamente encomendada, minimizando desperdícios. A malha pop utilizada no radier e na laje não exigiu cortes significativos, o que contribuiu para a otimização do material. Os metais empregados nos grautes foram fragmentados conforme as demandas e especificações do projeto. A maior parte dos resíduos metálicos é composta por discos de serra utilizados nos recortes dos blocos, sobras de rufos e calhas, além de perfis de alumínio provenientes da instalação de portas e janelas.

Em relação aos resíduos da construção civil (RCC) provenientes do assentamento de pisos e revestimentos utilizados no piso de toda a residência, nas paredes dos banheiros, da cozinha e da área gourmet, a geração de resíduos foi estimada em 0,143 kg/m<sup>2</sup>, resultando em um total aproximado de 9,90 kg.

Em relação ao Policloreto de Vinila (PVC) utilizado nas tubulações da rede hidrossanitária e elétrica, foi gerada aproximadamente 8,72 kg de RCC. A geração de resíduos foi estimada em cerca de 0,126 kg/m.

A madeira empregada na construção foi utilizada principalmente para o escoramento da laje e para o vão das esquadrias, como apresentado na Figura 18. A construtora responsável pela unidade em alvenaria estrutural, executa outras obras no bairro e devido à simultaneidade das obras, as peças de madeira eram frequentemente deslocadas para outras frentes de serviço ao final do escoramento. Esse manejo de materiais resultou em uma diminuição significativa na geração de resíduos. Na unidade analisada, apenas alguns pedaços de madeira, utilizados como calços ou cunhas, não foram reaproveitados, totalizando cerca de 4,62 kg (0,067 kg/m<sup>2</sup>).

Figura 18 - Escoramento da laje com madeiras de eucalipto e tábuas de pinho.



Fonte: Autor. 2024.

Para pintar o portão da residência, foram necessárias duas latas de thinner, cada uma com 900 ml, utilizadas para diluir a tinta aplicada no local. Após a utilização do produto, as latas vazias foram pesadas, resultando em um total de 410 g de metal.

Para a execução da alvenaria, contrapiso e reboco, foi estimado um consumo de 9,5 m<sup>3</sup> de areia. Com base nessa previsão, foi encomendado um caminhão com 12 m<sup>3</sup> do material. Esse volume atendeu à demanda da residência e ainda foi utilizado em outra unidade. Entretanto, no presente documento, abordaremos apenas a quantidade que não foi utilizada, que acabou sendo desperdiçada no lote vizinho devido à falta de cuidado no armazenamento do agregado. Estima-se que cerca de 4% do volume contratado foi desperdiçado. Para simplificação dos cálculos, adotou-se um desperdício de 0,48 m<sup>3</sup>.

A norma ABNT NBR 7211:2009 – *Agregados para concreto – Especificação* da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece valores para a massa unitária de diversos agregados, incluindo a areia. Para a areia seca, a massa unitária pode variar entre 1.400 e 1.600 kg/m<sup>3</sup>, dependendo de fatores como granulometria e umidade do material. Para este trabalho, adotou-se a massa unitária de 1.400 kg/m<sup>3</sup>. Com base nisso, a massa de areia não aproveitada na obra foi de 672 kg, correspondendo a uma taxa de desperdício de 9,739 kg/m<sup>2</sup> de área construída.

A laje utilizada na obra consiste em um modelo pré-moldado, caracterizado por vigotas em concreto e aço, e preenchimento em EPS (poliestireno expandido). As peças foram solicitadas sob medida, resultando em uma perda de EPS, na residência, estimada em aproximadamente 0,52 kg, o que equivale a uma geração de 0,008 kg/m<sup>2</sup>.

Em relação à cobertura do imóvel, foram utilizadas telhas de fibrocimento onduladas, com dimensões de 244 x 110 cm e espessura de 6 mm. Aproximadamente 25 telhas foram necessárias para cobrir a residência, e as perdas de material ocorreram devido aos cortes necessários para o encaixe das peças na estrutura do telhado, resultando em uma sobra de 2,4 kg. Esse valor corresponde a uma taxa de geração de RCC de 0,035 kg/m<sup>2</sup>.

Os materiais particulados, tal como o pó resultante do nivelamento de paredes utilizando massas PVA/Acrílica, totalizaram aproximadamente 32,34 kg, correspondendo a uma geração de 0,469 kg/m<sup>2</sup> (Figura 19). Ademais, outros resíduos, incluindo sobras de tintas, texturas, produtos químicos (como plastificantes e impermeabilizantes), óleos, entre outros, representaram cerca de 3,96 kg do total de resíduos da construção civil (RCC) gerados, o que equivale a uma geração de 0,057 kg/m<sup>2</sup> de área construída.

Figura 19 - Pintor lixando a parede com auxílio de máquina lixadeira elétrica



Fonte: Autor. 2024.

Na Figura 19 é perceptível que a maioria das partículas de material é efetivamente "capturada" pelo compartimento adjunto à lixadeira, o que resulta na diminuição da poeira e, por conseguinte, no recolhimento do material, propiciando sua eventual reciclagem.

Na fachada interna da residência, foram instaladas placas decorativas de gesso, encomendadas sob medida. Durante a instalação, não foi constatada a geração significativa de resíduos, evidenciando a eficiência no planejamento e execução.

A Figura 20 apresenta as fachadas da unidade residencial finalizada.

Figura 20 - Residência em alvenaria estrutural, analisada, sendo “A” fachada externa e “B” fachada interna



Fonte: Autor. 2024.

O Quadro 12 apresenta os três materiais que mais geraram RCC na unidade de alvenaria estrutural, incluindo o total de massa produzida por esses materiais e a taxa de geração em relação à área construída da edificação

Quadro 12 – Materiais com maior geração de RCC na obra onde empregou-se alvenaria estrutural

Componente	Peso (kg)	%	Geração kg/m <sup>2</sup>	Classificação	Observações
Concreto	1.152	43,90	16,696	A	Resíduos da mistura
Argamassa	696,66	26,57	10,097	A	Resíduos da mistura
Areia	672,00	25,63	9,739	A	Não recuperada
<b>Total</b>	<b>2.520,66</b>	<b>96,13</b>	<b>36,532</b>		

Fonte: Autor. 2024.

Ao analisar o Quadro 12, observa-se que a maior parte dos resíduos gerados (96,13%) na unidade em alvenaria estrutural, é composta por concreto, argamassa e areia, sendo esses os materiais com maior geração de RCC. Isso indica que esses componentes têm um impacto significativo na quantidade de resíduos produzidos durante a execução da obra, destacando a necessidade de estratégias para otimizar o uso e reduzir desperdícios.

Embora o concreto e a argamassa representem uma grande parte do RCC gerado, a areia, que também constitui uma quantidade significativa (25,63% do total), não foi recuperada. Isso sugere uma oportunidade de melhoria no armazenamento desse material no canteiro de

obras. Apesar de ser um componente de baixo custo, a forma inadequada de acondicionamento resulta em desperdícios consideráveis, o que pode gerar custos adicionais significativos.

Todos os materiais apresentados no Quadro 12 são classificados como de classe 'A', o que indica o potencial para reciclagem e reutilização, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e econômicos.

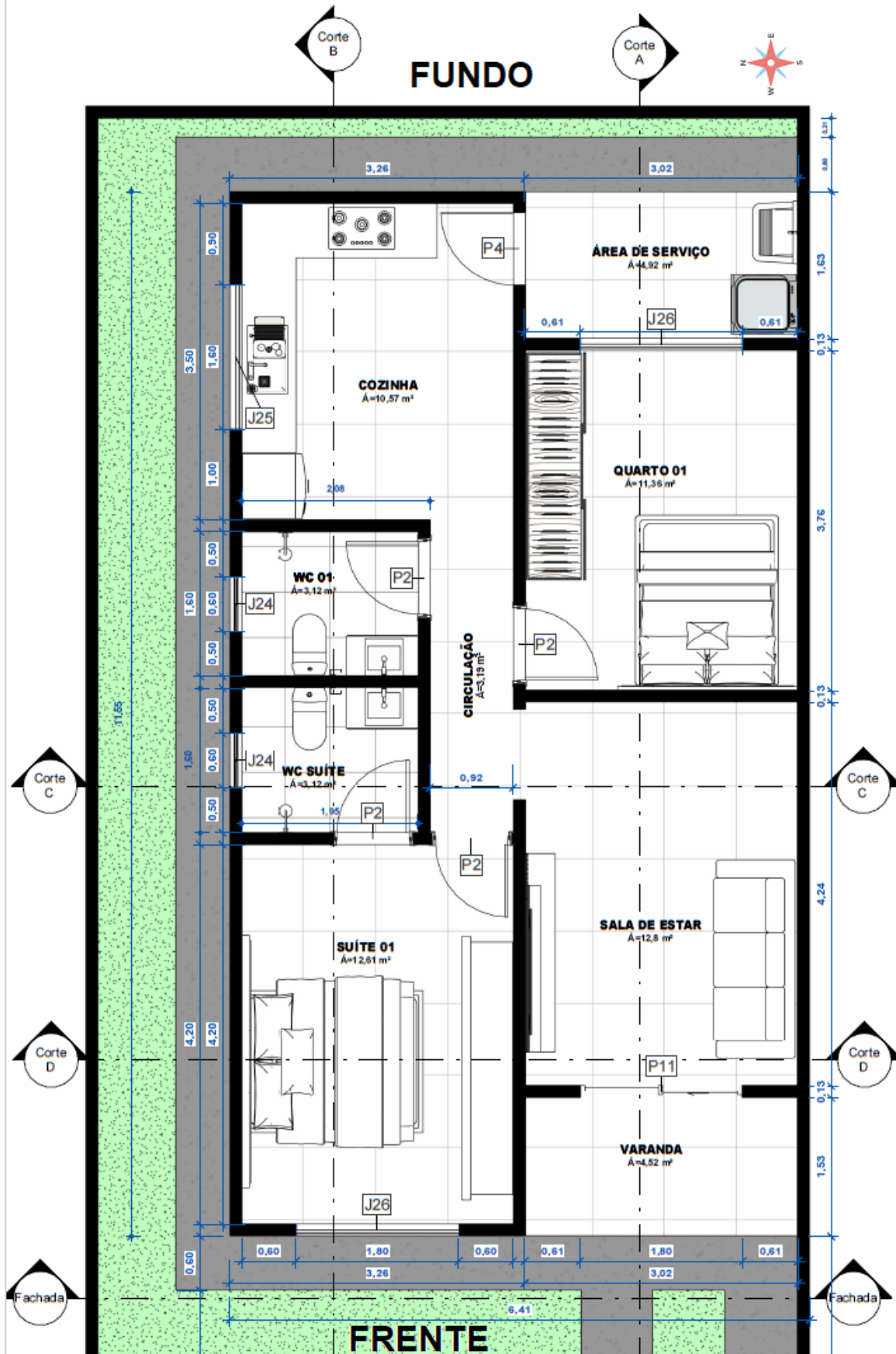
É possível inferir que a gestão dos resíduos gerados pela obra deve focar principalmente nesses três componentes, buscando otimizar seu uso, além de implementar medidas eficazes para a recuperação de materiais e a redução de desperdícios. Essas ações não só contribuirão para a sustentabilidade da obra, mas também ajudarão a reduzir os custos com o descarte e a aquisição de novos materiais.

#### 4.2 ALVENARIA DE VEDAÇÃO (AV)

O imóvel apresenta uma área construída de aproximadamente 72 m<sup>2</sup>, situado em um terreno que possui 8 metros de largura por 18 metros de comprimento, totalizando uma área de 144 m<sup>2</sup>.

A planta baixa da residência pode ser visualizada na Figura 21.

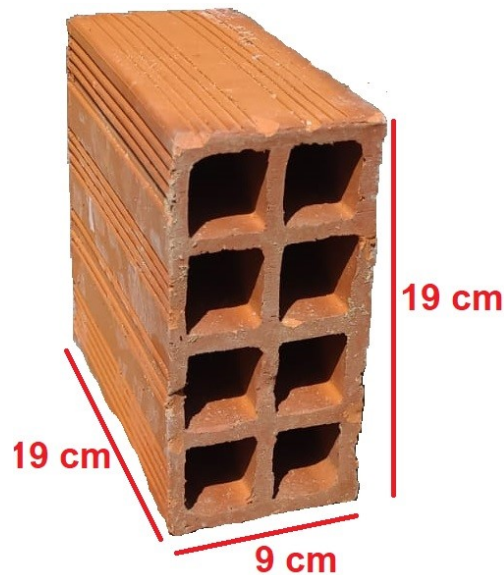
Figura 21 - Planta Baixa da obra em Alvenaria Convencional



Fonte: Autor. 2024.

A edificação possui fundação do tipo sapata isolada, acompanhada por vigas baldrames. Paredes em blocos de vedação confeccionados em material cerâmico, cujas dimensões estão detalhadas na Figura 22. A estrutura é composta por pilares, vigas e lajes pré-moldadas, preenchidas com poliestireno expandido (EPS), enquanto a cobertura é efetuada com telhas de fibrocimento, sustentadas por estrutura metálica. Assim, distingue-se da residência de alvenaria estrutural unicamente pelo tipo de fundação e pelo sistema de sustentação adotados.

Figura 22 - Bloco Cerâmico de vedação utilizado na residência



Fonte: Autor. 2024.

Para a edificação desta unidade, foram designados três pedreiros e dois assistentes, incumbidos das tarefas de escavação, nivelamento do terreno, confecção das fôrmas de madeira, bem como da execução das vigas, pilares e suas respectivas concretagens. Além disso, foram responsáveis pela elevação da alvenaria, pelo reboco e pela concretagem da laje, assim como pelos serviços hidráulicos e elétricos, pela implementação da cobertura, pelo assentamento de pisos e revestimentos, pela instalação de louças e pela pintura. A instalação do forro de gesso foi executada por prestadores de serviços terceirizados.

Para a execução da fundação, alocação de pilares e vigas baldrames fora utilizado um gabarito de madeira demarcando pontos de pilares e paredes com o auxílio de linhas de pedreiro, fixadas em pontos determinados no gabarito que abrange toda a edificação.

Para a concretagem da laje, utilizou-se madeiras como barreira, a fim de prevenir o vazamento de concreto. Além dos elementos constitutivos da laje, foram empregadas quantidades consideráveis de tábuas, pregos e arames recozidos.

De acordo com a planta da residência, apresentada na Figura 21, a unidade possui aproximadamente 120,92 metros lineares de alvenaria construída sob a laje, sendo 60,46 metros destinados à alvenaria de embasamento e 60,46 metros à estrutura de vedação. A platibanda, por sua vez, conta com mais 35,27 metros lineares de alvenaria edificada. Considerando que as paredes possuem uma altura de 2,85 metros, medida da face superior da viga baldrame até a face inferior da viga de respaldo, e que a platibanda tem 2,20 metros de altura, além da alvenaria de embasamento com uma altura média de 80 cm, a área total de alvenaria de vedação construída é de aproximadamente 298,273 m<sup>2</sup>. Vale destacar que esse cálculo inclui as áreas das aberturas das esquadrias da residência.

Esta unidade foi edificada entre novembro de 2023 e junho de 2024, totalizando oito meses de execução. Abaixo, encontra-se o Quadro 13 com as dimensões das aberturas da residência.

Quadro 13 – Aberturas na Alvenaria – Unidade em Alvenaria Convencional

<b>Abertura</b>	<b>Dimensões do vão</b>	<b>Abertura (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Quantidade (un)</b>	<b>Total (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Porta (entrada)</b>	1,8 m X 2,10 m	3,78	1	3,78
<b>Porta (corredor)</b>	1,00 m x 2,10 m	2,10	1	2,10
<b>Porta (cozinha/serviços e dormitórios)</b>	0,80 m X 2,10 m	1,68	3	5,04
<b>Porta (banheiros)</b>	0,70 m X 2,10 m	1,47	2	2,94
<b>Janela (dormitórios)</b>	1,80 m X 1,10 m	1,98	2	3,96
<b>Janela (cozinha)</b>	1,60 m X 1,10 m	1,76	1	1,76
<b>Janela (banheiros)</b>	0,60 m X 0,60 m	0,36	2	0,72
<b>Total</b>				<b>20,30</b>

Fonte: Autor (2024)

O Quadro 13 apresenta o total de aberturas na alvenaria. Ao subtrair esse valor da área total construída, verifica-se que a unidade, de fato, possui 277,973 m<sup>2</sup> de alvenaria edificada.

Assim como foi realizado na obra de alvenaria estrutural, todos os Resíduos de Construção (RCC) gerados na presente obra foram coletados e classificados de acordo com o tipo de material, conforme as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 307/2002.

O Quadro 14 detalha os RCC gerados, apresentando os componentes, o peso, a porcentagem em relação ao total e a respectiva classificação.

Quadro 14 – Resíduos da Construção Civil gerados na obra onde empregou-se alvenaria convencional

Componente	Peso (kg)	%	Geração kg/m <sup>2</sup>	Classificação	Observações
Blocos cerâmicos	1.487,85	29,16	20,665	A	Quebrados ou trincados
Concreto	1.416,00	27,75	19,667	A	Resíduos da mistura
Argamassa	1.320,82	25,88	18,345	A	Resíduos da mistura
Areia	784,00	15,36	10,889	A	Não recuperada
Massa PVA/Acrílica	35,50	0,70	0,493	B	Material particulado
Cerâmicas	8,70	0,17	0,121	A	Quebradas ou trincadas
Metais (Ferragens)	8,52	0,17	0,118	B	Não utilizados
Madeira	8,52	0,17	0,118	B	Cunhas e apoios
PVC	7,68	0,15	0,107	B	Cortes e sobras
Plásticos	7,10	0,14	0,099	B	Embalagens e materiais
Papel e Papelão	7,10	0,14	0,099	B	Embalagens de materiais
Gesso	6,65	0,13	0,092	B	Quebrados/lixados
Telhas fibrocimento	2,40	0,05	0,033	D	Recortes
Outros Resíduos	1,42	0,03	0,020	D	Não usados/sobras
Isopor	0,57	0,01	0,008	C	Quebras/Cortes
Latas de thinners	-	-	-	D	Usadas
<b>Total</b>	<b>5.102,83</b>	<b>100</b>	<b>70,873</b>		

Fonte: Autor. 2024.

No que tange aos blocos cerâmicos, foram utilizados os denominados “tijolos baianinhos”, cujas dimensões se configuram em 9x19x19 cm. Para erigir 1 m<sup>2</sup> de parede, são requeridas 25 unidades desse tipo de bloco. Conseqüentemente, para a construção da residência, desde a viga baldrame até a altura da laje, foram necessários aproximadamente 4.308 blocos. A platibanda da edificação possui uma altura de 2,20 metros, demandando, assim, mais 1.940 unidades de tijolos. Adicionalmente, na alvenaria de embasamento, que apresenta uma altura média de 0,8 metros, foram assentados cerca de 1.210 tijolos. Em suma, a residência fez uso efetivo de aproximadamente 7.458 blocos do tipo baianinho.

O resíduo gerado foi de aproximadamente 1.487,85 kg, incluindo peças quebradas ou danificadas durante a descarga do material no canteiro, o transporte interno, o assentamento e os cortes/recortes destinados às instalações elétricas, 11 pontos hidráulicos e 5 pontos de coleta de esgoto na unidade. Além disso, incluem-se as aberturas feitas para a instalação dos tubos do sistema hidrossanitário e dos eletrodutos. Estima-se que a perda tenha sido de aproximadamente 20,665 kg/m<sup>2</sup> de alvenaria edificada. Considerando que cada bloco cerâmico tenha uma massa

de 2 kg, a massa de RCC gerada equivale a cerca de 743 unidades desse material. Isso leva à conclusão de que houve uma perda de cerca de 10% dos blocos cerâmicos adquiridos para uso na unidade. Na Figura 23, é possível observar parte dos resíduos gerados.

Figura 23 - RCC de blocos cerâmicos – Residência em Alvenaria de Vedação



Fonte: Autor. 2024.

O concreto empregado na construção da fundação, pilares, vigas, vergas, contravergas e laje totalizou aproximadamente 17 m<sup>3</sup>. Deste volume, cerca de 0,59 m<sup>3</sup> (3,5%) foi perdido durante o transporte da betoneira até o ponto de lançamento, ou resultado de vazamentos entre as junções das fôrmas de madeira, além das sobras nos carrinhos de mão e no próprio misturador. O volume desperdiçado corresponde a aproximadamente 1.416 kg do material seco. Para adequar os cálculos na tabela apresentada anteriormente, esse valor foi dividido pela área construída da residência, que é de 72 m<sup>2</sup>. A taxa de geração de RCC encontrada foi de 19,667 kg/m<sup>2</sup> de área construída.

No que se refere à argamassa utilizada para o assentamento dos tijolos, reboco interno, reboco externo e a regularização do piso. Estima-se uma perda de cerca de 18,345 kg/m<sup>2</sup>,

resultando em uma geração total de 1.320,82 kg de Resíduos de Construção (RCC) desse material.

Com relação aos resíduos metálicos, houve uma distinção em relação à obra de alvenaria estrutural, na qual as ferragens eram adquiridas prontas. Nesta edificação, as armaduras foram confeccionadas *in loco*, o que confere maior flexibilidade e possibilita ajustes durante a fabricação das peças. No entanto, essa prática resulta em um aumento significativo na quantidade de cortes, dobras e na utilização de arames recozidos, por exemplo. Conseqüentemente, há um incremento no consumo dos materiais e, por conseguinte, na geração de resíduos. Calhas e rufos foram encomendados sob medida e, dessa forma, obteve-se uma geração menor de RCC. Estima-se que, entre pontas de vergalhões, pregos, arames e perfis de alumínio para instalação das esquadrias, aproximadamente 0,118 kg/m<sup>2</sup> de resíduos metálicos tenham sido gerados nesta unidade.

Os resíduos plásticos compreendem embalagens de ferramentas e materiais utilizados na obra, além de sobras de eletrodutos, tanto corrugados quanto rígidos, empregados na instalação de redes elétricas e de lógica. A geração desse componente foi estimada em aproximadamente 0,099 kg/m<sup>2</sup>.

Para o assentamento de pisos e revestimentos, gerou-se aproximadamente 8,70 kg de RCC, resultando em uma taxa de geração de 0,121 kg/m<sup>2</sup> de área construída.

Quanto ao Policloreto de Vinila (PVC) utilizado nas tubulações das redes hidrossanitária e elétrica da residência, a geração de resíduos foi de aproximadamente 7,68 kg. Relacionando essa quantidade à área da unidade residencial (72 m<sup>2</sup>), estima-se uma geração de 0,107 kg/m<sup>2</sup> de área construída. Essa taxa de geração é inferior à observada na obra em alvenaria estrutural (0,126 kg/m<sup>2</sup>), o que se deve à maior complexidade e quantidade de instalações hidráulicas e elétricas, já que as redes de distribuição são embutidas nas paredes e lajes de concreto. Esse processo demanda mais cortes e ajustes nas tubulações, o que aumenta o volume de resíduos, como sobras de PVC e peças quebradas, na obra de alvenaria estrutural.

Neste método construtivo, a madeira é amplamente utilizada, desde o gabarito até a caixaria e escoramento. Embora uma parte significativa da madeira empregada na obra pudesse ser reutilizada em outros projetos, as peças que foram cortadas sob medida apresentam maior dificuldade de reaproveitamento no canteiro de obras. Devido à particularidade do modelo, houve uma geração incrementada de RCC deste material. Na unidade analisada, alguns fragmentos de tábuas, cunhas, calços e sarrafos não foram reaproveitados, totalizando

aproximadamente 8,52 kg de resíduos (0,118 kg/m<sup>2</sup>). A Figura 24, mostra algumas tábuas que foram utilizadas durante a obra. A maioria dessas peças foram reaproveitadas em outras obras que a construtora executa no bairro.

Figura 24 - Tábuas utilizadas na construção da residência



Fonte: Autor. 2024.

Para a aplicação de tintas à base de solventes nos portões da residência, o construtor adquiriu uma lata de thinner com capacidade para 5 litros. Não houve a necessidade de utilizar a totalidade do líquido, resultando na estocagem do recipiente. Consequentemente, não ocorreu a geração de Resíduos de Construção e Civil (RCC).

Em relação a areia, na presente unidade, verificou-se a mesma problemática observada na obra de alvenaria estrutural: a falta de cuidado no armazenamento do agregado, que foi depositado, sem as mínimas proteções, diretamente em um terreno adjacente à construção. Foi adquirido 14 m<sup>3</sup> de areia, estima-se que cerca de 0,56 m<sup>3</sup> (4% do volume contratado) foi desperdiçado. Considerando a massa unitária da areia de 1.400 kg/m<sup>3</sup>, o montante não aproveitado na obra correspondeu a 784 kg. O que equivale a uma geração de 10,889 kg/m<sup>2</sup>.

poliestireno expandido (EPS) utilizado na execução da laje gerou aproximadamente 0,57 kg de RCC, o que corresponde a uma taxa de geração de 0,008 kg/m<sup>2</sup>.

Na unidade em alvenaria de vedação, também foram utilizadas telhas de fibrocimento com as mesmas dimensões das usadas na obra em alvenaria estrutural (244x110x0,06 cm). Foram necessárias aproximadamente 25 telhas para cobrir a residência. As sobras do material totalizaram 2,40 kg, resultando em uma taxa de geração de resíduos de 0,033 kg/m<sup>2</sup> de área construída.

Para a realização do rebaixamento do forro em gesso, observou-se a ocorrência de algumas quebras nas peças. No entanto, foi possível a utilização dessas peças danificadas, uma vez que os profissionais empregaram técnicas adequadas de corte, colagem, lixamento e pintura. Esse método resultou em uma significativa redução na geração de resíduos. Ao final da obra, constatou-se a produção de 6,65 kg de material residual proveniente das placas de gesso, o que corresponde a uma geração de 0,092 kg/m<sup>2</sup>.

Os materiais particulados, tal como o pó resultante do nivelamento de paredes utilizando massas PVA/Acrílica, totalizaram aproximadamente 35,50 kg, correspondendo a uma geração de 0,493 kg/m<sup>2</sup>. Por derradeiro, outros resíduos, como restos de tintas, texturas, produtos químicos (plastificantes, impermeabilizantes), óleos, entre outros, representaram cerca de 1,42 kg do total de resíduos da construção civil (RCC) gerados, o que equivale a uma geração de 0,020 kg/m<sup>2</sup>.

A Figura 25 apresenta as fachadas da unidade construída em alvenaria de vedação após a conclusão da obra.

Figura 25 - Residência em alvenaria de vedação, analisada, sendo “A” fachada externa e “B” fachada interna



O Quadro 15 apresenta os quatro materiais mais relevantes na geração de RCC na unidade de alvenaria de vedação, incluindo o total de massa produzida por esses materiais e a taxa de geração em relação à área construída da edificação.

Quadro 15 – Materiais com maior geração de RCC na obra onde empregou-se alvenaria de vedação

Componente	Peso (kg)	%	Geração kg/m <sup>2</sup>	Classificação	Observações
Blocos cerâmicos	1.487,85	29,16	20,665	A	Quebrados ou trincados
Concreto	1.416,00	27,75	19,667	A	Resíduos da mistura
Argamassa	1.320,82	25,88	18,345	A	Resíduos da mistura
Areia	784,00	15,36	10,889	A	Não recuperada
<b>Total</b>	<b>5.008,67</b>	<b>98,15</b>	<b>69,566</b>		

Fonte: Autor. 2024.

Ao analisar o Quadro 15, observa-se que a maior parte dos resíduos gerados (98,15%) na unidade em alvenaria de vedação é composta por blocos cerâmicos, concreto, argamassa e areia. Verifica-se que, nesta técnica construtiva, a maior massa de RCC provém dos blocos cerâmicos, ao contrário da alvenaria estrutural, onde os blocos representam menos de 1% da geração total de RCC. Para mitigar a geração de resíduos provenientes dos blocos cerâmicos na alvenaria de vedação, uma alternativa seria a adoção do uso dos chamados “meio bloco” para alocação nos encontros de paredes e limites de esquadrias. Outra solução seria utilizar ferramentas para recortar os blocos, em vez de quebrá-los.

Além disso, observa-se uma discrepância significativa na taxa de geração de RCC provenientes da argamassa na alvenaria de vedação (18,345 kg/m<sup>2</sup>) em comparação à alvenaria estrutural (10,097 kg/m<sup>2</sup>). Essa diferença pode ser atribuída ao extenso uso de argamassa na alvenaria de vedação para o assentamento dos blocos, sendo necessária para garantir a aderência e o preenchimento das juntas, incluindo as verticais. Ademais, a quantidade de argamassa utilizada é consideravelmente maior, uma vez que as paredes de vedação são mais finas e exigem mais material para assegurar a resistência e a estabilidade. Por fim, o processo de realização de rasgos e recortes na alvenaria para a instalação de tubos e eletrodutos resulta no desperdício da argamassa já aplicada.

A exemplo da alvenaria estrutural, é possível inferir que a gestão dos resíduos gerados pela obra deve focar principalmente nesses quatro componentes, buscando otimizar seu uso, além de implementar medidas eficazes para a recuperação de materiais e a redução de desperdícios.

### 4.3 COMPARATIVO ENTRE AS DUAS OBRAS

A configuração singular da Alvenaria Estrutural proporciona resistência e estabilidade à estrutura, suprimindo a necessidade de pilares ou vigas adicionais, uma vez que as paredes são responsáveis por suportar o próprio peso e a carga da laje. Em contrapartida, a Alvenaria de Convencional emprega blocos cerâmicos e adota uma fundação do tipo sapata isolada com vigas baldrame. Nesta abordagem, as paredes exercem predominantemente a função de vedação, sendo a estrutura sustentada por pilares e vigas, o que resulta em um sistema que pode demandar um maior uso de materiais estruturais e, por conseguinte, revela-se menos eficiente em termos de utilização de materiais para auxiliar na conformação de tais estruturas de sustentação.

Em virtude das características inerentes à alvenaria estrutural, os blocos são dispostos de modo a dispensar-se a necessidade de fracionamento das peças para o alinhamento adequado das esquadrias e encontros de paredes. Tal metodologia pode ser igualmente aplicada na alvenaria de vedação, mediante a utilização de meio blocos e correta modulação; entretanto, sua adoção não é uma prática amplamente empregada em canteiros desse tipo de obra e neste estudo, também, não se fez presente. Essa circunstância culmina em um incremento na quantidade de blocos fraturados e, conseqüentemente, em uma elevação na geração de resíduos, dado que, na maioria dos casos, as metades quebradas dos blocos não são utilizadas.

No que tange ao prazo de construção, a Alvenaria Estrutural apresentou um período de execução de seis meses, o qual foi prorrogado em razão de remanejamentos na equipe de trabalho para outras unidades por cerca de 35 dias. Por sua vez, a Alvenaria de Vedação consumiu um total de oito meses para a sua conclusão. A demanda por um maior número de profissionais, especificamente três pedreiros, pode sugerir a existência de um processo construtivo mais intrincado, decorrente da necessidade de suportes estruturais adicionais.

Em relação ao custo com mão de obra infere-se que a alvenaria convencional despendeu um custo maior, em função da maior quantidade de colaboradores envolvidos nas atividades do canteiro. No que se refere à geração de Resíduos da Construção Civil (RCC), observou-se que, na Alvenaria Estrutural, houve um desperdício aproximado de 1.152 kg de concreto, enquanto na Alvenaria de Vedação o desperdício atingiu cerca de 1.416 kg. À primeira vista, esses dados podem levar à conclusão de que o modelo convencional propicia uma maior perda desse material. Contudo, é imprescindível destacar que, na referida obra, houve uma demanda significativamente maior pela produção do concreto in loco, uma vez que, no caso da

Alvenaria Estrutural, o concreto foi fornecido por uma usina para a execução da laje e, também, do radier, diferentemente da obra em AV que solicitou concreto usinado apenas para a laje. Essa circunstância resulta em uma diminuição do manuseio dos componentes do concreto no canteiro de obras, reduzindo, por conseguinte, as perdas associadas ao transporte interno e aos resíduos gerados durante o uso de misturadores e ferramentas de aplicação. Além disso, nos sistemas de alvenaria estrutural (AE), os grautes foram preenchidos à medida que as paredes eram edificadas. Em contrapartida, na alvenaria de vedação (AV), para o preenchimento de pilares e vigas, os mesmos foram adequadamente conformados com o uso de tábuas, sendo concretados de maneira a evitar emendas no concreto, com o objetivo de garantir maior eficiência no desempenho estrutural. Esse procedimento, no entanto, resulta em maiores perdas durante o lançamento do concreto, devido a vazamentos e derramamentos ocasionados pelo manuseio inadequado dos baldes com o material.

Para uma análise mais precisa, seria pertinente comparar a geração de RCC por metro quadrado. Nessa perspectiva, a Alvenaria de Vedação continuou a apresentar uma maior geração de resíduos de concreto, com  $19,667 \text{ kg/m}^2$ , em comparação aos  $16,696 \text{ kg/m}^2$  da Alvenaria Estrutural. Assim, é possível inferir que a perda de areia de construção na obra que adota o método convencional também tende a ser superior. Já que este agregado é um dos principais componentes do concreto. Na Alvenaria Estrutural, registrou-se uma perda de aproximadamente  $672 \text{ kg}$  de areia, resultando em uma geração de  $9,739 \text{ kg/m}^2$ . Em contraste, na obra que utiliza o método convencional, a perda foi do agregado foi de cerca de  $784 \text{ kg}$  de areia, o que equivale a uma perda de  $10,889 \text{ kg/m}^2$  da área construída.

A geração de RCC provenientes de argamassa na obra em alvenaria convencional, alcançou  $1.320,82 \text{ kg}$  ( $18,345 \text{ kg/m}^2$ ), em comparação com  $696,66 \text{ kg}$  ( $10,097 \text{ kg/m}^2$ ) na obra de alvenaria estrutural. Essa disparidade revela como as exigências do processo construtivo influenciam a quantidade de resíduos gerados, ressaltando a importância de considerar o contexto específico de cada método construtivo na avaliação de eficiência e sustentabilidade.

Ressalta-se, contudo, que com base apenas nos dados discutidos acima, não é possível afirmar que um tipo de obra gera mais RCC provenientes do concreto do que o outro. Como mencionado anteriormente, para uma comparação adequada entre os métodos construtivos, seria necessário que as condições fossem igualitárias. No entanto, no caso do concreto – e, por consequência, da areia e argamassa – isso não foi viável, pois a obra em alvenaria estrutural (AE) utilizou uma quantidade menor de concreto preparado in loco, o que compromete a equidade da comparação entre as duas técnicas.

O fator determinante que desequilibra a comparação entre as duas obras é, indubitavelmente, a geração de resíduos provenientes dos blocos utilizados. No contexto da alvenaria estrutural, a singularidade desse modelo permite que tubos e eletrodutos sejam instalados utilizando os furos verticais já existentes nos blocos, resultando em uma demanda significativamente menor por cortes ou quebras das peças para a passagem desses e de outros materiais. Ademais, a maior resistência dos blocos estruturais contribui para uma redução drástica das perdas por quebras acidentais. Nas unidades estudadas, a geração de RCC oriundos dos blocos na obra com alvenaria convencional foi aproximadamente 70 vezes superior àquela verificada na obra com alvenaria estrutural. A geração desses resíduos por metro quadrado foi de 0,304 kg/m<sup>2</sup> na alvenaria estrutural e de 20,665 kg/m<sup>2</sup> na alvenaria convencional (68 vezes maior). Ressalta-se, ainda, que a geração de RCC provenientes de blocos estruturais poderia ser totalmente zerada se fossem encomendados junto à fábrica, peças com os recortes para alocação das caixas de luz e saída para os pontos de alimentação hídrica, todavia, preferiu-se que tais recortes fossem realizados no canteiro de obras propiciando mais agilidade no levante da alvenaria. Em contrapartida, essa escolha implicou num custo maior com aquisição de discos de serra e conseqüentemente, geração de RCC de natureza metálica.

Com o objetivo de estabelecer um método comparativo mais preciso, optou-se pela análise da geração de resíduos provenientes dos blocos em relação à área edificada (Equação 2). Na alvenaria estrutural, foram construídos 172,28 m<sup>2</sup> de alvenaria, e considerando os 21 kg de resíduos gerados pelos blocos estruturais, verifica-se uma taxa de geração de aproximadamente 0,122 kg/m<sup>2</sup> de parede construída. Em contrapartida, na alvenaria de vedação, a geração de RCC proveniente dos blocos cerâmicos foi de 1.487,85 kg. Relacionando esse valor com a área edificada de 277,973 m<sup>2</sup>, obtém-se uma taxa de geração de 5,352 kg/m<sup>2</sup> de alvenaria construída. Mesmo ao considerar a taxa de geração de RCC em relação à área edificada, a diferença na quantidade de resíduos provenientes dos blocos permanece elevada. Observa-se que, na alvenaria de vedação, a taxa é cerca de 44 vezes maior em comparação à alvenaria estrutural. Esse dado indica que o desperdício de blocos cerâmicos é significativo em obras dessa natureza, ressaltando a necessidade de estratégias para otimizar o uso desse material e reduzir as perdas durante o processo construtivo.

Em relação aos RCC provenientes de tubos PVC, papel, papelão, cerâmicas, isopor, telhas de fibrocimento e massa PVA, nota-se semelhança na geração de resíduos por metro quadrado de área construída. Este fato pode ser explicado devido a pouca influência que os métodos construtivos estudados, incidem sobre a forma de utilização desses materiais

específicos. Os fatores determinantes que podem impactar a magnitude da geração de RCC desses itens, incluem a qualidade intrínseca dos materiais adquiridos, bem como, a eficiência dos projetos arquitetônicos e hidrossanitários adotados – a paginação do piso, no caso das cerâmicas. Por fim, porém de grande importância, a qualidade da mão-de-obra contratada para execução dos serviços.

Em relação à mão de obra, observa-se que, embora a alvenaria de vedação exija um maior número de profissionais, seu amplo uso no Brasil facilita a disponibilidade de trabalhadores, tornando os serviços mais acessíveis em termos de custo. Em contrapartida, a alvenaria estrutural requer mão de obra especializada, e, por ser menos comum, eleva o valor dos serviços devido à necessidade de profissionais com maior qualificação técnica.

Além dos blocos, constatou-se que materiais como metais e madeiras apresentaram geração de RCC com discrepâncias consideráveis quando comparada as duas obras. Ambos os materiais aduziram maior geração na obra em alvenaria de vedação, confirmando as projeções, uma vez que, no caso das madeiras, por exemplo, são amplamente utilizadas para montagem das caixarias que auxiliam na confecção de vigas, pilares e lajes.

As duas obras apresentam notáveis semelhanças, uma vez que ambas fazem parte do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMMV) do governo federal, possuem áreas construídas equivalentes e seguem o mesmo padrão construtivo. No entanto, é fundamental destacar algumas diferenças que impossibilitam a comparação direta na geração de resíduos de determinados materiais entre elas.

Por exemplo, na obra de alvenaria convencional, o forro é executado com placas de gesso, enquanto na unidade de alvenaria estrutural, o forro é realizado por meio de reboco aplicado diretamente na face inferior da laje. Essa diferença implica em uma maior demanda de areia e argamassa na obra de alvenaria estrutural, enquanto na obra de alvenaria de vedação surge a utilização de um novo material, gerando resíduos específicos de gesso. Embora a utilização de laje rebocada na alvenaria estrutural exija um maior consumo de argamassa, a taxa de geração de RCC desse material permaneceu inferior em comparação à alvenaria de vedação. Isso se deve, principalmente, aos cortes e rasgos realizados nas paredes da alvenaria de vedação para a passagem de instalações, os quais geram uma quantidade significativa de resíduos, tanto de blocos quanto de argamassa.

Ademais, a qualidade dos materiais empregados exerce influência significativa na geração de RCC, assim como a competência da mão-de-obra. De maneira geral, observa-se que,

na fase bruta da obra, a alvenaria estrutural apresenta métodos construtivos que demandam um menor consumo de materiais, resultando, conseqüentemente, em uma geração de resíduos inferior.

Em resumo, a alvenaria estrutural demonstra uma superior eficiência na utilização de materiais, resultando em uma geração reduzida de resíduos e em uma estrutura mais integrada, que dispensa a necessidade de diversos elementos complementares. Essa abordagem pode impactar de maneira significativa tanto a sustentabilidade econômica quanto a ambiental, uma vez que a diminuição da quantidade de resíduos e a otimização na utilização dos materiais contribuem para um desempenho mais responsável e sustentável no processo construtivo.

A alvenaria de vedação, por envolver um maior número de componentes estruturais, como vigas e pilares, resulta em uma geração de resíduos mais elevada e exige cuidados adicionais durante a manipulação e o assentamento. A necessidade desses elementos para a sustentação da estrutura aumenta o consumo de concreto e aço, ampliando as possibilidades de perdas durante o lançamento e a execução. Além disso, o processo apresenta maior risco de quebras e desperdícios ao longo das etapas construtivas. Embora seja uma técnica amplamente utilizada, essa abordagem pode gerar custos mais elevados devido ao maior consumo de materiais e ao prolongamento do tempo necessário para a conclusão da obra.

Ao analisar os dados de geração total de resíduos, verifica-se que, embora a área construída utilizável das duas unidades seja semelhante, há uma discrepância significativa na quantidade de RCC gerada. A obra em alvenaria de vedação produziu aproximadamente 5.102,83 kg de resíduos, o que corresponde a 70,873 kg/m<sup>2</sup> de área construída, enquanto a obra em alvenaria estrutural gerou 2.622,35 kg, resultando em uma taxa de 38,005 kg/m<sup>2</sup>.

Ao desconsiderar a geração de resíduos proveniente dos blocos, observa-se uma redução para 3.614,98 kg (50,208 kg/m<sup>2</sup>) na alvenaria de vedação e para 2.601,35 kg (37,701 kg/m<sup>2</sup>) na alvenaria estrutural, evidenciando a relevância desse material no volume total de RCC gerado. Nesse cenário, a taxa de geração de RCC na alvenaria de vedação apresentou uma redução de aproximadamente 29,16%, enquanto na alvenaria estrutural a queda foi de apenas 0,80%.

Esses números evidenciam que o método construtivo de alvenaria estrutural pode contribuir para a mitigação de custos econômicos associados à manejo e descarte de resíduos e ambientais, promovendo um melhor aproveitamento dos insumos aplicados. Contudo, ressalta-se que essa redução da geração de resíduos não implica necessariamente em um menor custo

global de construção, uma vez que é essencial considerar os custos de aquisição dos materiais utilizados em cada método.

À época da construção, por exemplo, o bloco cerâmico empregado na alvenaria de vedação tinha um custo médio de R\$ 750,00 por milheiro, equivalente a R\$ 0,75 por unidade. Em contrapartida, o bloco estrutural de concreto utilizado na alvenaria estrutural custava R\$ 2.860,00 por milheiro, ou seja, R\$ 2,86 por unidade. Vale ressaltar que esses valores são relativamente baixos, pois ambas as construtoras negociaram descontos com os fornecedores. No caso da alvenaria estrutural, o proprietário da fábrica de blocos receberá uma das mais de 500 residências que a construtora planeja edificar no bairro. Já para a construtora que utiliza alvenaria de vedação, os blocos foram adquiridos diretamente da olaria, eliminando custos com distribuidores intermediários.

Estima-se que, apenas com a aquisição dos blocos cerâmicos, a construtora tenha investido cerca de R\$ 6.152,85 para a construção da edificação analisada, considerando uma taxa de perda de 10% do material. Para a AE, o investimento na compra dos blocos estruturais de concreto foi estimado em aproximadamente R\$ 13.796,18, assumindo 100% de aproveitamento desses blocos. Nesse contexto, a obra com alvenaria de vedação exigiu cerca de 55,40% menos capital para a aquisição dos blocos em comparação à obra com alvenaria estrutural. Vale ressaltar que, com o valor investido na compra dos blocos estruturais de concreto, seria possível adquirir blocos cerâmicos suficientes para construir duas residências semelhantes àquela analisada neste estudo.

Portanto, embora a alvenaria estrutural apresente vantagens no aproveitamento dos materiais e na redução de resíduos, a viabilidade econômica do método deve ser analisada considerando os custos dos insumos específicos de cada técnica construtiva. Além disso, é fundamental considerar os custos com mão de obra. Embora esse método seja mais rápido e eficiente no uso dos insumos, a escassez de profissionais especializados pode aumentar os custos, impactando o valor final da construção.

Outro fator importante a ser considerado é o porte da obra ou a quantidade de edificações a serem construídas. Devido ao custo dos blocos estruturais, a construção de uma única residência utilizando essa técnica tende a ser mais cara do que pelo método convencional. Isso explica por que a alvenaria estrutural é mais frequentemente empregada em projetos de maior porte, como edifícios de três ou mais pavimentos e imóveis de programas habitacionais. Nesses casos, a economia gerada pelo melhor aproveitamento dos insumos tende a compensar, ao longo do tempo, o alto custo inicial dos materiais.

Em relação à classificação dos resíduos gerados, as duas obras analisadas apresentam percentuais semelhantes na categorização dos resíduos. O Quadro 16 apresenta a classificação dos resíduos gerados e identificados nas respectivas construções, conforme as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 307/2002 e pela Resolução CONAMA nº 431/2011.

Quadro 16 – Composição percentual da geração de RCC nas duas obras analisadas neste estudo, seguindo a classificação da Resolução CONAMA nº 307/2002; Resolução CONAMA nº 431/2011.

Obra	Classificação	%
Alvenaria estrutural	A	97,30
	B	2,42
	C	0,02
	D	0,26
Alvenaria de vedação	A	98,33
	B	1,59
	C	0,01
	D	0,07

Fonte: Autor. 2024.

Conforme apresentado no Quadro 16, na alvenaria estrutural, a maior parte dos resíduos é classificada na categoria A (97,3%), o que indica que são materiais recicláveis com grande potencial de reutilização. Apenas uma pequena fração dos resíduos se enquadra nas categorias B (2,42%), C (0,02%) e D (0,26%), correspondendo a materiais com diferentes níveis de dificuldade para reciclagem, ou classificados como perigosos ou inertes. Na alvenaria de vedação, a distribuição dos resíduos segue padrão semelhante, com 98,33% dos materiais na categoria A, refletindo também uma alta proporção de resíduos recicláveis. As categorias B (1,59%), C (0,01%) e D (0,07%) apresentam valores menores, reforçando a predominância de materiais com potencial para reaproveitamento, embora ainda haja uma quantidade residual de resíduos com menor viabilidade para reciclagem.

Esse perfil de resíduos nas duas obras sugere um bom índice de aproveitamento de materiais recicláveis, em conformidade com as regulamentações ambientais.

Em relação à reutilização dos resíduos, não foram observados planos específicos para a reutilização nos canteiros de obras. Entretanto, um aspecto positivo em relação ao meio ambiente decorreu da busca por redução de custos: as caçambas contratadas para a coleta dos resíduos foram, em diversas ocasiões, compartilhadas entre os dois construtores. Embora a prefeitura cobre a taxa baseada no m<sup>2</sup> de área construída das residências. Pelo viés ambiental, houve uma redução na queima de combustíveis fósseis para a retirada e descarte dos resíduos

das obras uma vez que a cada compartilhamento de caçambas, ao menos uma viagem aos canteiros de obras era reduzida.

Em função da construção de múltiplas unidades residenciais na região, houve situações em que o volume total da caçamba estacionária não era completamente preenchido com os resíduos da obra em alvenaria estrutural. Dessa forma, o espaço remanescente era complementado com os resíduos da obra em alvenaria de vedação. Essa prática permitiu que os construtores dividissem os custos operacionais, resultando em economia financeira e, ao mesmo tempo, promovendo benefícios ambientais mesmo que não relacionado, diretamente, com os RCC.

No que concerne aos resultados obtidos, apresenta-se a Figura 26. Parte dos resíduos gerados e recolhidos da residência em alvenaria estrutural.

Figura 26 - Resíduos da obra que emprega alvenaria estrutural



Fonte: Autor, (2024)

Conforme ilustrado na Figura 26, a maioria dos resíduos de construção civil identificados consiste em fragmentos de concreto, argamassa e placas cerâmicas. No entanto, outros detritos foram averiguados, particularmente madeiras e aço. Além disto, em se tratando da destinação, constatou-se que uma empresa certificada realiza a coleta de RCC nas duas obras

analisadas e os encaminha à RETEC-Tecnologia em Resíduos, empresa especializada em gerenciamento de resíduos diversos, incluindo os provenientes da ICC. A companhia está situada a cerca de 20 quilômetros das referidas obras. O custo associado à coleta e destinação do entulho é de R\$ 450,00 por caçamba cheia retirada das obras, sendo R\$ 250,00 pela coleta e R\$ 200,00 pelo acondicionamento.

Ressalta-se que não houve segregação dos RCC nos canteiros por tipo de material. A prática comum observada nas obras consistia em amontar os resíduos para posterior recolhimento. A responsabilidade pela seletividade e separação dos resíduos ficou a cargo da gerenciadora de resíduos contratada.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho investigou a geração de resíduos da construção civil (RCC) em duas técnicas construtivas amplamente empregadas no Brasil: alvenaria convencional e alvenaria estrutural. A pesquisa, conduzida em obras residenciais de um pavimento localizadas em Barreiras, Bahia, construídas concomitantemente e no mesmo bairro, revelou diferenças significativas tanto em termos de volume de resíduos gerados quanto na eficiência operacional e sustentabilidade ambiental de cada técnica. Além disso, foram exploradas questões relativas à gestão de RCC e à viabilidade econômica dos métodos estudados.

O desenvolvimento do presente estudo possibilita as seguintes conclusões:

1. Embora se identifiquem diferenças na geração de resíduos provenientes de diversos materiais, como pisos e revestimentos cerâmicos, tubulações hidráulicas, pintura e eletrodutos, é importante destacar que tais variações não estão necessariamente vinculadas ao método construtivo em si, mas sim a fatores como a paginação dos pisos, as ferramentas empregadas, o fabricante dos materiais, e a qualificação dos profissionais envolvidos, por exemplo. De maneira geral, ao comparar os dois métodos analisados neste estudo, é possível inferir que os materiais que apresentam discrepâncias significativas em relação à demanda e, conseqüentemente, à geração de RCC são os blocos (tanto estruturais quanto de vedação), o concreto e as ferragens (incluindo grautes, vigas, pilares e arames recozidos) e, por último, as madeiras utilizadas para escoramento e caixarias. Sem dúvida, esses materiais são demandados de forma distinta em cada um dos métodos construtivos considerados.

2. Os resultados indicaram que a alvenaria estrutural apresenta vantagens ambientais evidentes, com uma geração de RCC significativamente menor ( $38,005 \text{ kg/m}^2$ ) em comparação com a alvenaria convencional ( $70,873 \text{ kg/m}^2$ ). Essa redução pode ser atribuída à modularidade empregada no sistema estrutural e ao melhor aproveitamento dos materiais. No entanto, o custo unitário dos insumos utilizados na alvenaria estrutural, como os blocos de concreto, é consideravelmente maior do que na alvenaria convencional, o que pode impactar a viabilidade econômica da técnica estrutural, dependendo das condições do projeto.

3. A execução da alvenaria estrutural é significativamente mais rápida que a alvenaria de vedação, no presente estudo na unidade em AE foi possível a redução de um pedreiro na equipe sem comprometer o prazo, resultando na conclusão da obra em menos tempo. Esse fator evidencia a maior agilidade e eficiência desse sistema construtivo.

4. Outro aspecto relevante identificado é a gestão inadequada de RCC nos canteiros de obra, com práticas que não incluem a segregação dos materiais e que deixam a responsabilidade pela separação para as empresas contratadas para coleta. Essa abordagem limita o potencial de reutilização dos resíduos e aumenta os custos operacionais. Assim, medidas como a implementação de planos de gerenciamento de resíduos e o treinamento da mão de obra são fundamentais para melhorar a eficiência do processo.

5. A geração de Resíduos da Construção Civil (RCC) na alvenaria de vedação pode ser significativamente reduzida por meio da adoção da modulação da alvenaria, com o uso de "meio bloco". Esses blocos podem ser adquiridos diretamente da fábrica ou produzidos no canteiro de obras por meio de cortes específicos. Essa prática não apenas proporciona benefícios ambientais, mas também pode reduzir os custos e aumentar a eficiência operacional. A incorporação de medidas sustentáveis na construção civil contribui para a preservação ambiental e está em consonância com os objetivos globais de desenvolvimento sustentável.

6. Portanto, conclui-se que a técnica construtiva que gera a menor quantidade de RCC é a alvenaria estrutural. No entanto, a escolha entre as duas técnicas deve ser fundamentada em uma análise criteriosa de suas características e aplicabilidades, considerando não apenas os custos iniciais, mas também os benefícios a longo prazo em relação à sustentabilidade e à eficiência operacional. A alvenaria estrutural, embora apresente maior custo em termos de insumos, possui um maior potencial para a redução de Resíduos da Construção Civil (RCC). Por outro lado, a alvenaria convencional, apesar de ser mais acessível, exige estratégias mais eficazes para o gerenciamento de resíduos. Em ambos os casos, a adoção da modulação na alvenaria constitui uma medida eficiente para a redução significativa dos resíduos gerados no canteiro de obras.

Futuros trabalhos poderão explorar maneiras de reduzir os custos de aquisição dos insumos utilizados na alvenaria estrutural, bem como avaliar o impacto de novas tecnologias e materiais sustentáveis na construção civil. Além disso, estudos mais amplos sobre práticas de gestão de RCC e o desenvolvimento de políticas públicas para incentivar a adoção de técnicas sustentáveis são essenciais para promover um setor de construção civil mais eficiente e responsável.

## REFERÊNCIAS

**ABREMA. 2024.** *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.* [Acesso em: 29 de Janeiro de 2025.] [https:// https://www.abrema.org.br/panorama/](https://www.abrema.org.br/panorama/).

**Almeida, Ítalo D'Artagnan. 2021.** *Metodologia do trabalho científico.* Recife: Editora da UFPE, 2021.

**Alvenaria estrutural e seus componentes básicos.** Salema, 2014. Disponível em: <https://www.ceramicasalema.com.br/alvenaria-estrutural-e-seus-componentes-basicos>. Acesso em: 26 nov. 2025.

**Alves, Fernando Reggiori Feres. 2015.** *Estimativa da geração de resíduos da construção civil no município de Campo Mourão -PR.* Campo Mourão: UTFPR, 2015.

**Andrade et al. 2020.** *Gestão de resíduos sólidos.* Belo Horizonte: Poisson, 2020. Vol. I.

**Bastos, Paulo Sérgio. 2021.** *Alvenaria estrutural.* Bauru: UNESP, 2021.

**Bazzo, Walter Antonio e Pereira, Luiz Teixeira do Vale. 2006.** *Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos.* Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.

**Bertol, Alessandra Cardoso, Raffler, Andreia e Santos, Jaqueline Pimentel dos. 2013.** *Análise da correlação entre a geração de resíduos da construção civil e as características das obras.* Curitiba: UTFPR, 2013.

**Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2012.** *Manual de gerenciamento integrado de resíduos da construção civil e resíduos volumosos.* Brasília: MMA, 2012.

**Brito et al. 2015.** *A contribuição da logística reversa dentro dos processos da construção civil. Revista eletrônica Machado Sobrinho.* 2015.

**Brito et al. 2021.** *Meio Ambiente e Sustentabilidade.* Campina Grande: Editora Amplla, 2021.

**Câmara Brasileira Da Indústria Da Construção (Cbic). 2023.** *Panorama da indústria da construção no Brasil em 2023.* Brasília: CBIC, 2023. Disponível em: <https://www.cbic.org.br>. Acesso em: 21 dez. 2024.

**Camargos, Gabriel Augusto e Guido, Laura Cristina de Faria e. 2017.** *Estudo comparativo de viabilidade entre sistemas construtivos: alvenaria convencional, alvenaria estrutural e paredes de concreto moldadas no local em habitações populares.* Brasília: UCB, 2017.

**Cardoso, Potenciano. 2023.** *Estudo de caso: gestão dos resíduos da construção civil em uma obra do município de Goiânia.* PUC-GOÍÁS. 2023.

**Cassar, Bernardo Camargo. 2018.** *Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: alvenaria convencional x light steel frame.* Rio de Janeiro: UFRJ, 2018.

**CNI. 2024.** *Perfil setorial da indústria- Construção Civil.* [Online] 2024. [Citado em: 19 de Janeiro de 2024.] <https://perfilsetorialdaindustria.portaldaindustria.com.br/>.

**Cunha, Guilherme Antonio Correa. 2022.** *A importância da construção civil para a economia brasileira: a partir de uma abordagem insumo e produto.* Brasília: IDP, 2022.

**Fermiano, Aline. 2019.** Análise comparativa dos resíduos sólidos gerados pela construção civil. *USF*. 2019.

**Ferreira, José Francisco de Carvalho. 2021.** *Desenvolvimento Sustentável.* Maringá: UNIEDSUL, 2021.

**FIESP. 2022.** *Indicadores da Construção.* 2022.

**Franzin, Sergio Francisco Loss e Leite, Uberlando Tiburtino. 2022.** *Objetivos do desenvolvimento sustentável: boas práticas e mecanismos de implementação da agenda 2030 no Brasil.* Rondônia: IFECT, 2022.

**Hashiguti, Akemy Aline. 2018.** *Estudo sobre alvenaria estrutural com blocos de concreto.* Campo Mourão: UTFPR, 2018.

**IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e municípios – *panorama, 2021a.* Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais.html>. Acesso em 24 nov. 2024.

**IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas nacionais – *estatísticas econômicas, 2021b.* Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em 24 nov. 2024

**IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Panorama, 2021e.* Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em 24 nov. 2024.

**IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. *Pesquisa nacional por amostra de domicílio, 2019.* Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/21130-domicilios-brasileiros>. Acesso em 24 nov. 2024

**IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, 2020.* Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchwordconstru%C3%A7%C3%A3o> Acesso em 24 nov. 2024

**Júnior, Carlos Alberto Silva Sena e Carmo, Laila Roberta Souza do. 2015.** *Estudo comparativo em habitações sociais: alvenaria convencional x light steel frame.* Caratinga: DOCTUM, 2015.

**Kawano, Bruno Rogora. 2016.** *Introdução à engenharia.* Indaial: UNIASSELVI, 2016.

**Kerst, Rafael Rambalducci. 2018.** *Projetos e detalhes construtivos de alvenaria estrutural.* Londrina: Editora e distribuidora educacional S/A, 2018.

**Lakatos, Eva Maria e Marconi, Marina de Andrade. 2003.** *Fundamentos da metodologia científica.* 5ª. São Paulo: Atlas, 2003.

**Lara, Bruna Stocco de e Piloneto, Camila Vandresen. 2016.** *Comparação entre os sistemas construtivos de alvenaria estrutural e paredes de concreto monolíticas moldadas in loco.* Curitiba: UTFPR, 2016.

**Maia et al. 2020.** *Expansão urbana: despossessão, conflitos, diversidade na produção e consumo do espaço.* João Pessoa: UFPB, 2020.

**Marcello, Duany Silveira. 2019.** *Alternativas para aplicação da logística reversa na construção civil em Florianópolis.* Florianópolis: UFSC, 2019.

**Oliveira, Danielle Maciel de e Lopes, Diego Ferreira. 2014.** *Alvenaria convencional x light steel frame.* Caratinga: DOCTUM, 2014.

**Oliven, Ruben George. 2010.** *Urbanização e mudança social no Brasil.* Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010.

**Paulino, Rafaella Salvador. Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020.**

**Pedro et al. 2018.** *Geração de resíduos na construção civil: comparativo entre a edificação de bloco estrutural e convencional.* JES. 2018.

**Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil / organizadores S. C. Angulo; L. S. Oliveira, L. Machado – São Paulo : Epusp, 2022. 104p.**

**Pimental, Ubiratan Henrique Oliveira. 2013.** *Análise da geração de resíduos da construção civil da cidade de João Pessoa - PB.* Salvador: UFBA, 2013.

**Prado et al. 2022.** *Alvenaria estrutural com bloco de concreto: estudo do método executivo.* Una. 2022.

**Reis, Walmir Costa dos. 2016.** *Alvenaria estrutural com blocos de concreto vazados.* São Luís: UEM, 2016.

**Resolução CONAMA nº. 307 – Gestão dos Resíduos da Construção Civil de 5 de julho de 2002 (Alterada pelas Resoluções nº. 348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015);**

**Santaella et al. 2014.** *Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira.* Fortaleza: UFC, 2014.

**Santos, Denise Ribeiro. 2015.** *Impacto do projeto de alvenaria na geração de resíduos de construção civil: estudo de caso.* SBQP. 2015.

**Schamne, Annelise Nairne. 2016.** *Avaliação do potencial de aplicação dos preceitos da logística reversa de resíduos sólidos ao setor da construção civil em Curitiba, Paraná.* Curitiba: UTFPR, 2016.

**Silva, Rafel. 2017.** *Elevação da Alvenaria Estrutural na Construção Civil. O que é ?* [Online] 2017. [Citado em: 20 de Janeiro de 2024.] <https://www.universidadetrisul.com.br/etapas-construtivas/elevacao-da-alvenaria>.

**Silva, Welighda Christia da. 2017.** Resíduos sólidos da construção civil: caracterização, alternativas de reuso e retorno econômico. *Revista de gestão e sustentabilidade ambiental*. 2017.

**SINIR. 2021.** *Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos*. [Online] 2021. [Acesso em: 19 de Janeiro de 2024.] <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>.

**Souza et al. 2019.** Resíduos da construção civil: estudo comparativo de duas empresas de Rondonópolis - MT. *Revista de estudos e pesquisas em administração*. 2019.

**Souza, Ana Carolina Rodrigues da Rocha. 2021.** *Análise estatística da produção de cimento no Brasil e sua relação com o PIB da construção civil*. Ouro Preto: UFOP, 2021.

**Spaniol, Norton Cesar. 2018.** *Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e wood frame para habitação de interesse social*. Pato Branco: UTFPR, 2018.

**Trevisan, Januario, Giongo, Juliano Luiz e Junior, Valdemar Sauchuk. 2012.** *Estudo comparativo entre alvenaria convencional com bloco cerâmico e alvenaria estrutural com bloco de concreto*. Curitiba: IDD, 2012.

**Tullio et al. 2019.** *Gestão de Resíduos Sólidos*. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. Vol. I.

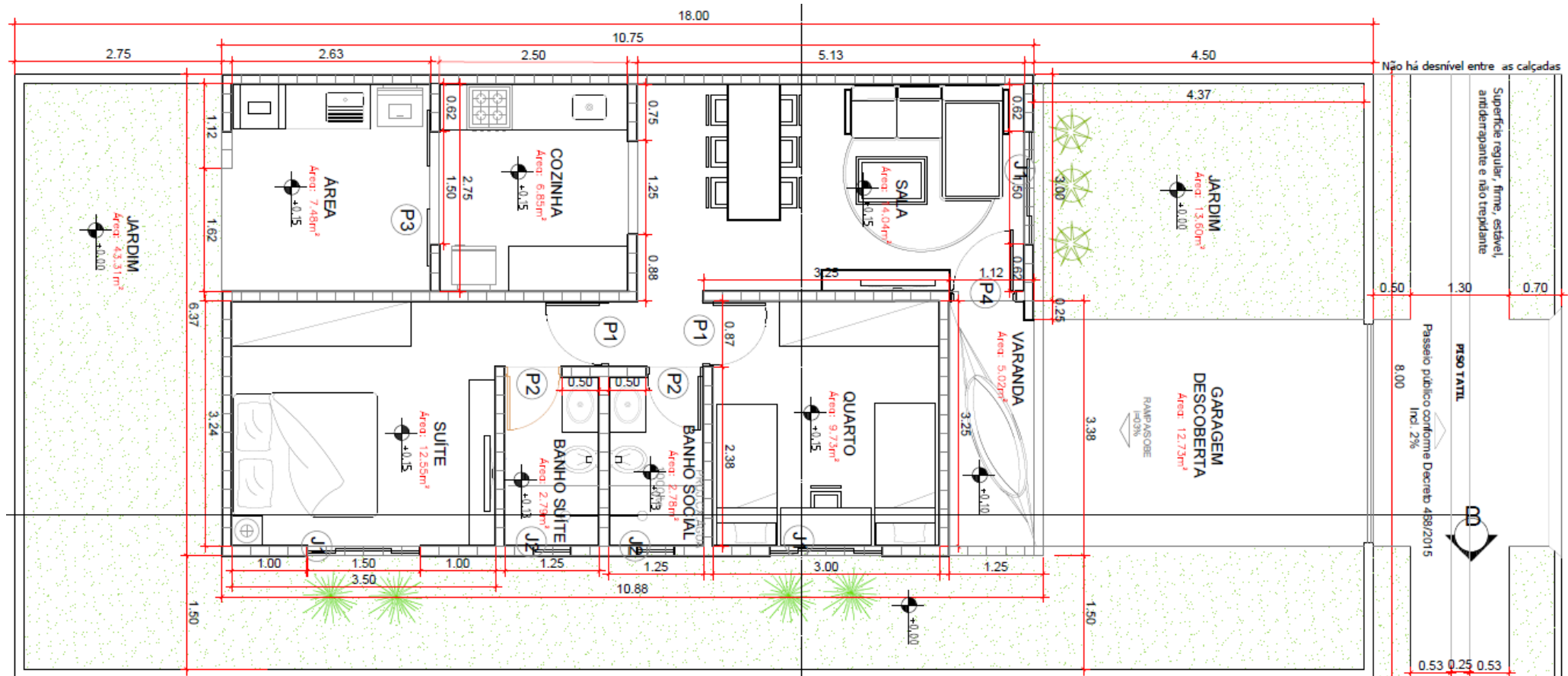
**VDI Construtora e Incorporadora.** *Projeto de modulação dos blocos estruturais de concreto, 2023*.

**Vespasiano, Júlia Viviane Camêlo. 2019.** *Análise comparativa de custos de execução dos sistemas construtivos: alvenaria convencional e concreto pré-fabricado*. Belo Horizonte: UFMG, 2019.

## ANEXOS

- Planta baixa, cortes, fachadas e modulação dos blocos da obra em alvenaria estrutural modelados no software *AutoCad*.

Figura 27 - Planta baixa da unidade em alvenaria estrutural



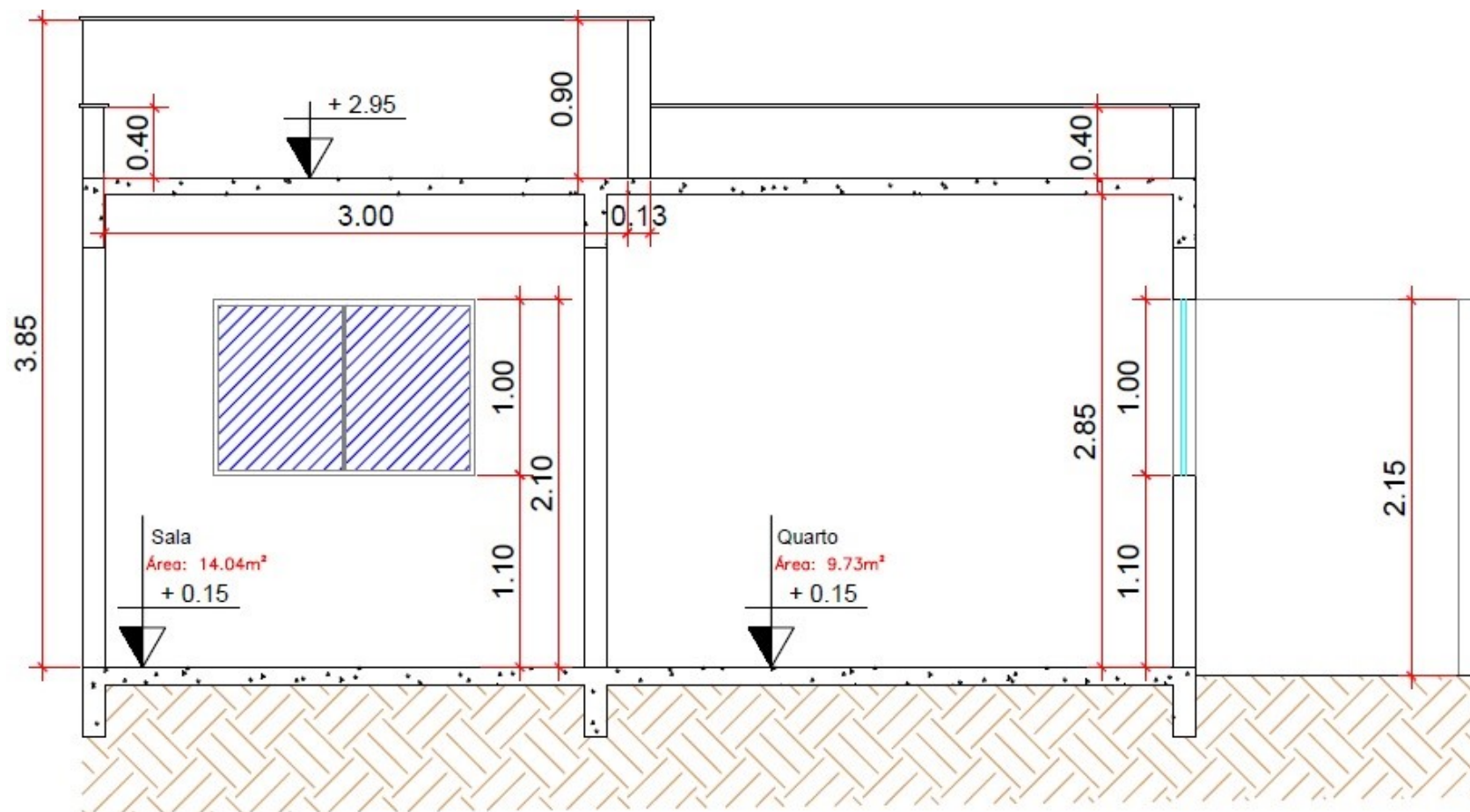
Fonte: Autor, 2024

Figura 28 - Fachadas da unidade em alvenaria estrutural



Fonte: Autor, 2024

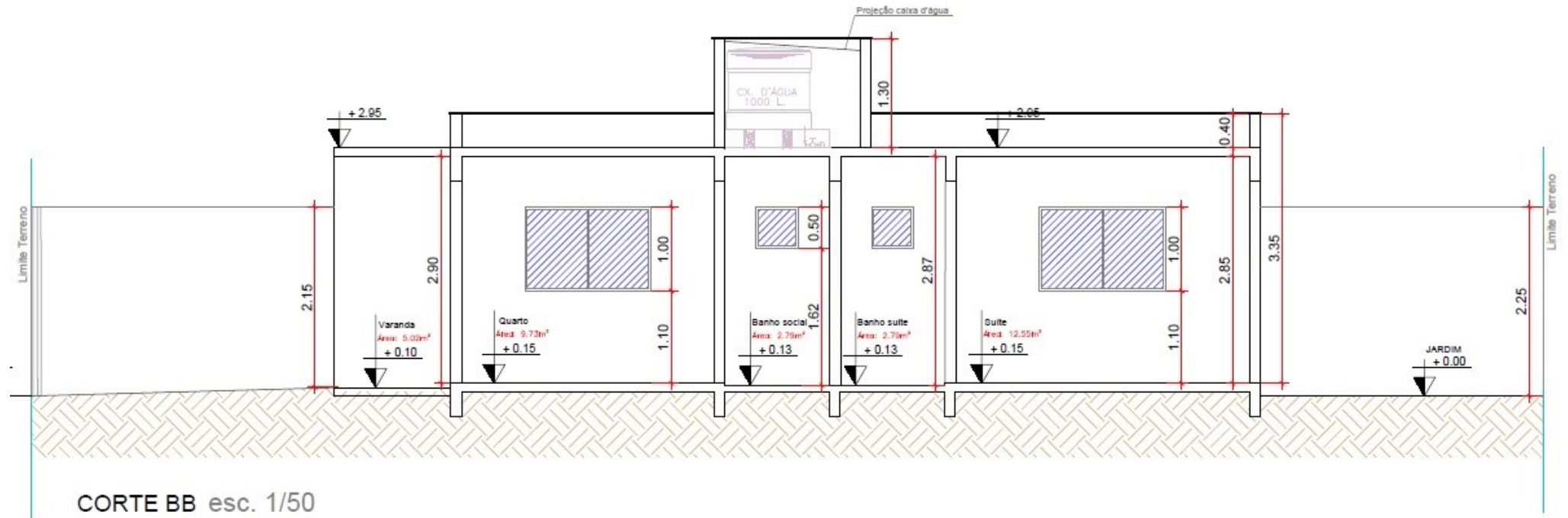
Figura 29 - Corte AA unidade em alvenaria estrutural



CORTE AA esc. 1/50

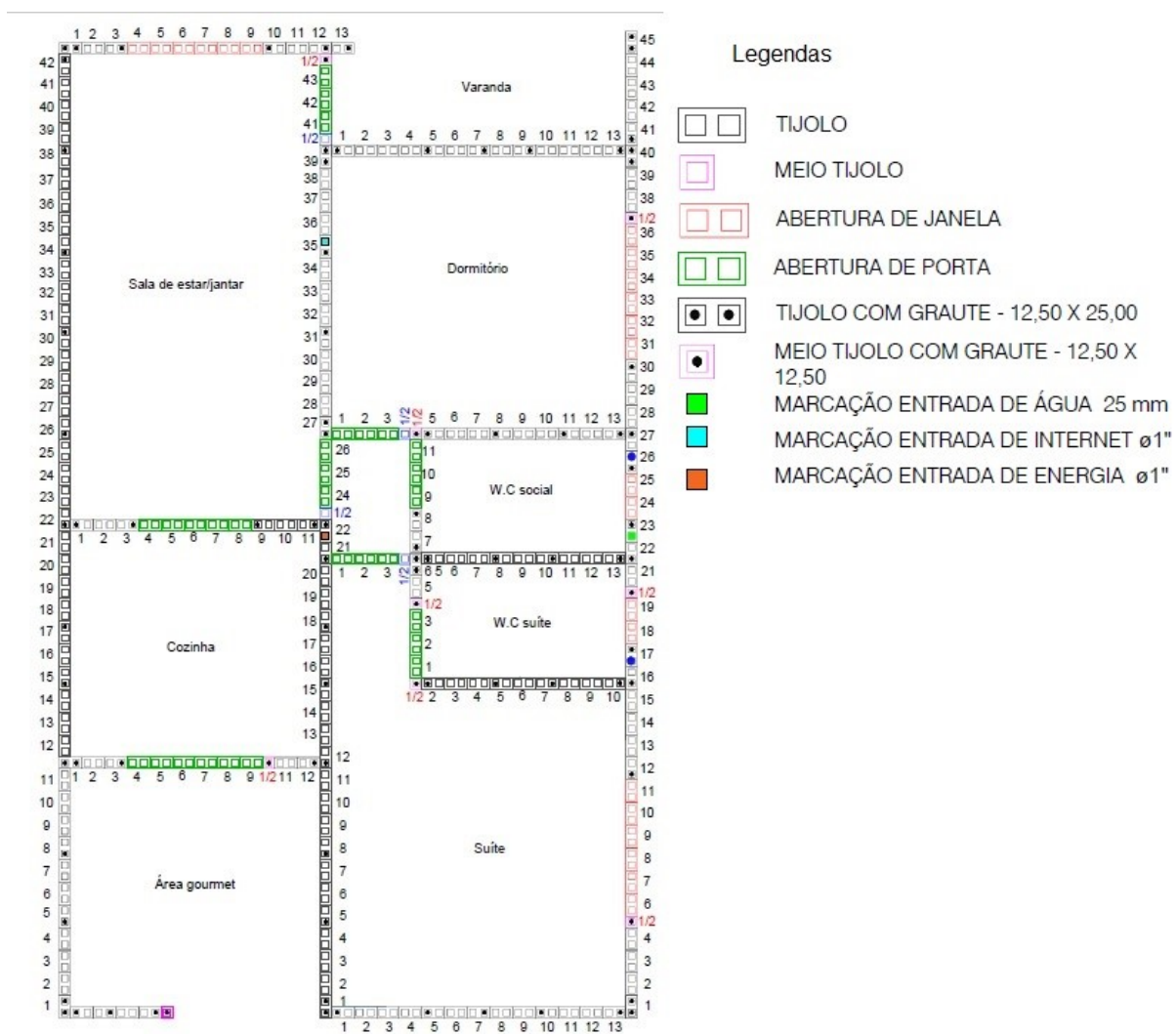
Fonte: Autor, 2024

Figura 30 - Corte BB unidade em alvenaria estrutural



Fonte: Autor, 2024

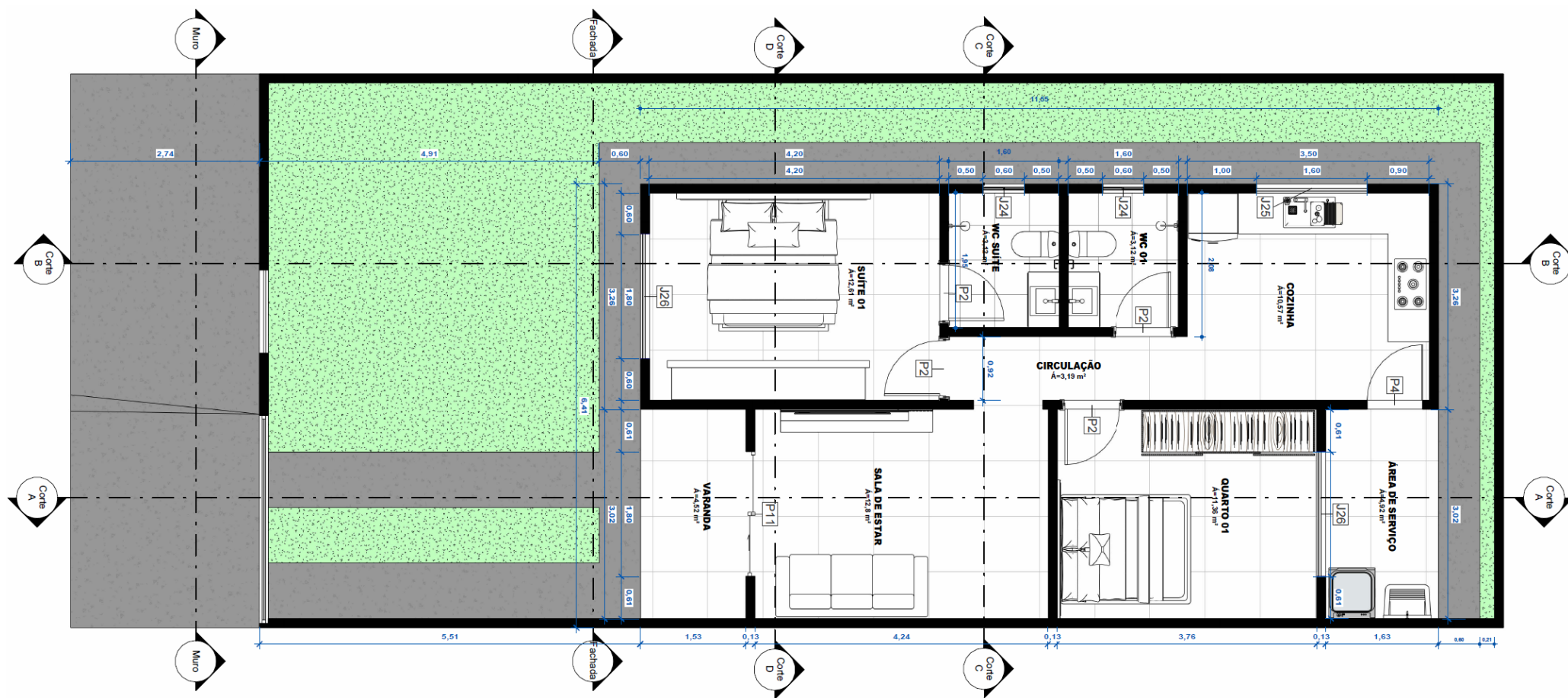
Figura 31 - Modulação dos blocos e posição dos grautes na unidade em alvenaria estrutural



Fonte: Adaptado, VDI Construtora, 2024

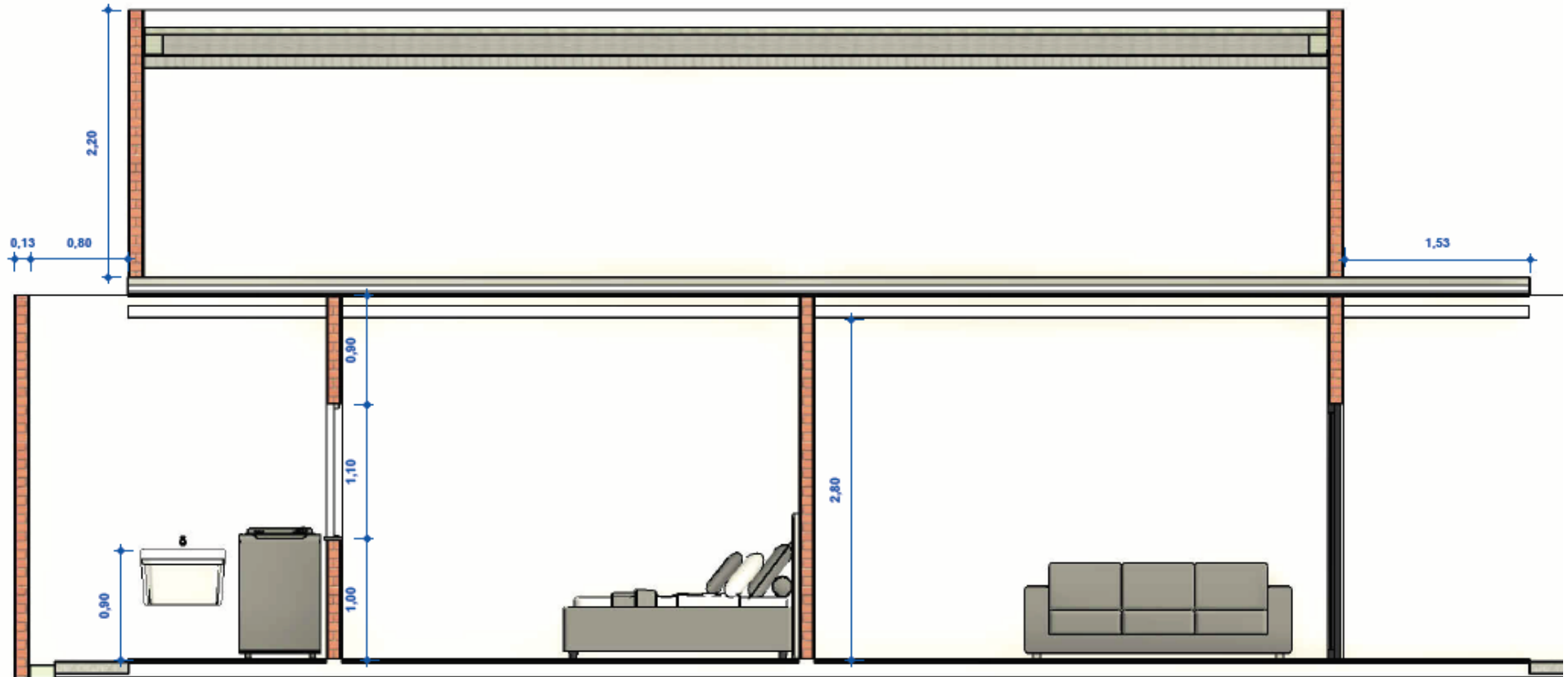
- Planta baixa, cortes, fachadas e representação 3D da obra em alvenaria de vedação modelados no software *AutoDesk Revit*.

Figura 32 - Planta baixa da unidade em alvenaria de vedação



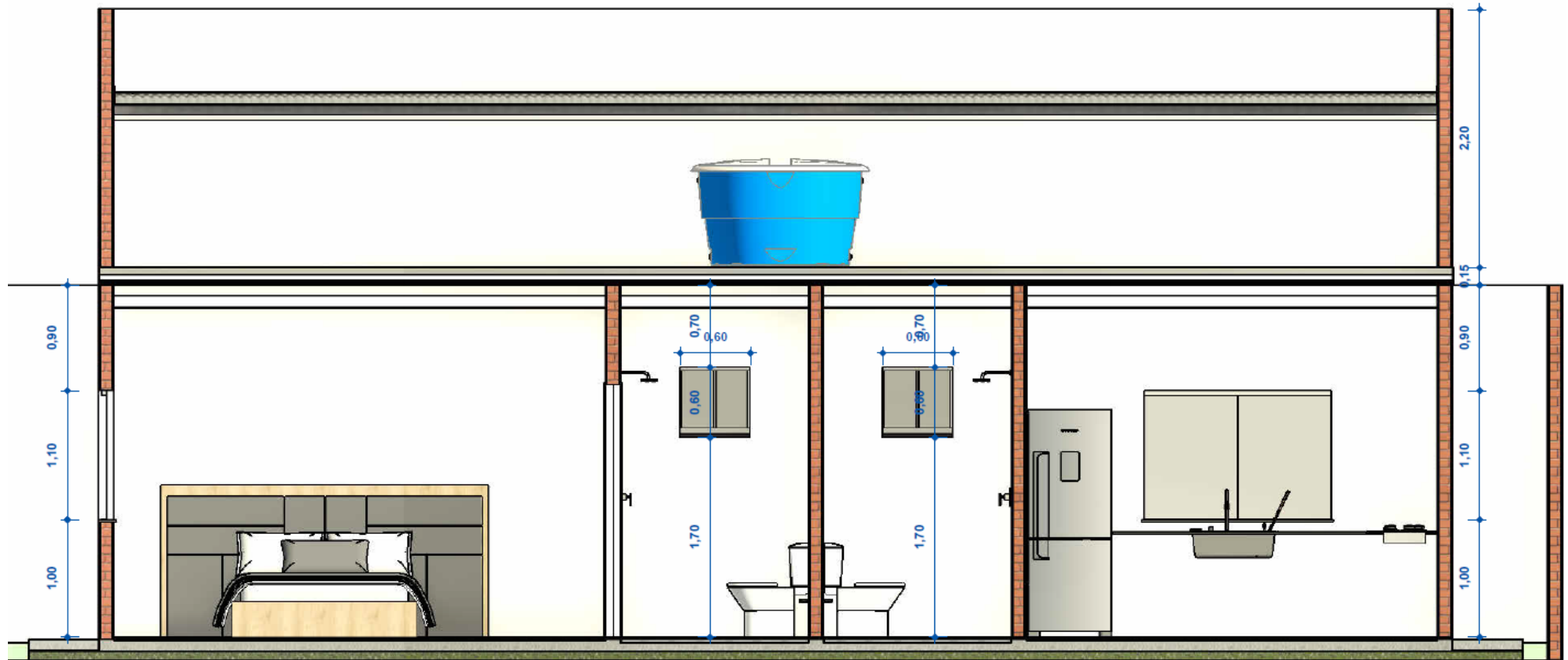
Fonte: Autor, 2024

Figura 33 - Corte A da unidade em alvenaria de vedação



1 Corte A  
1 : 50

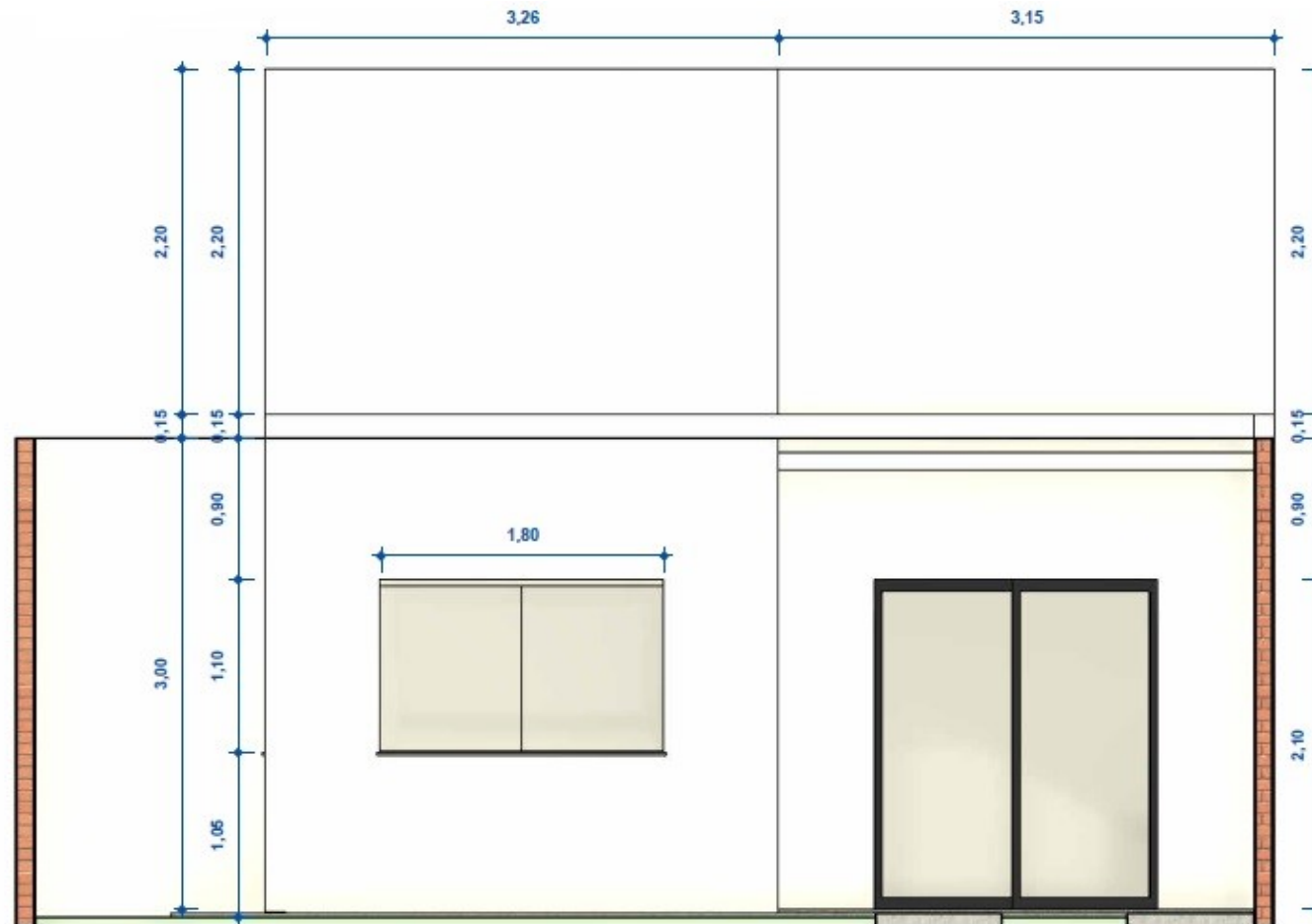
Figura 34 - Corte B da unidade em alvenaria de vedação



2 Corte B  
1 : 50

Fonte: Autor, 2024

Figura 35 - Fachada da unidade em alvenaria de vedação

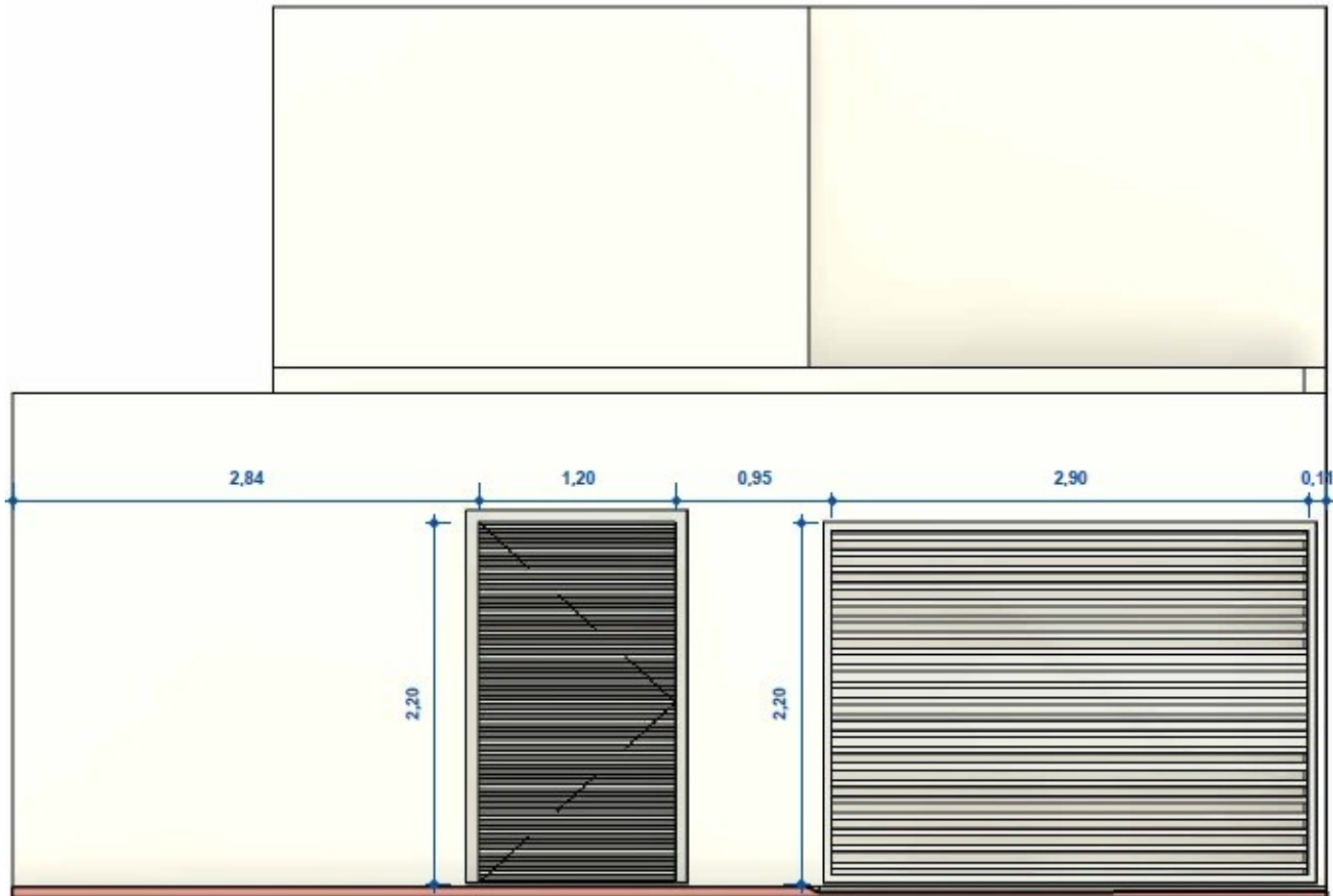


Fachada

1 : 50

Fonte: Autor, 2024

Figura 36 - Fachada externa da unidade em alvenaria de vedação

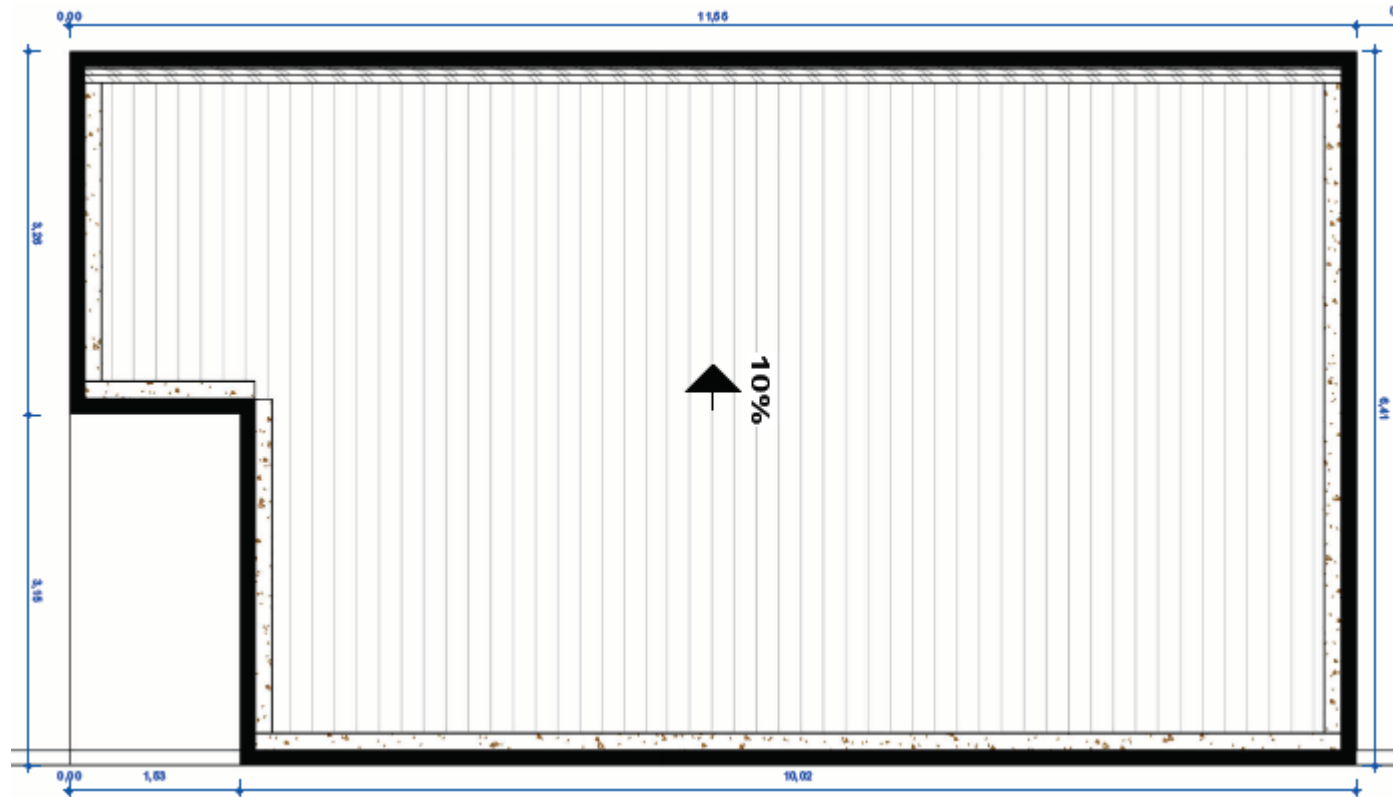


Muro

1 : 50

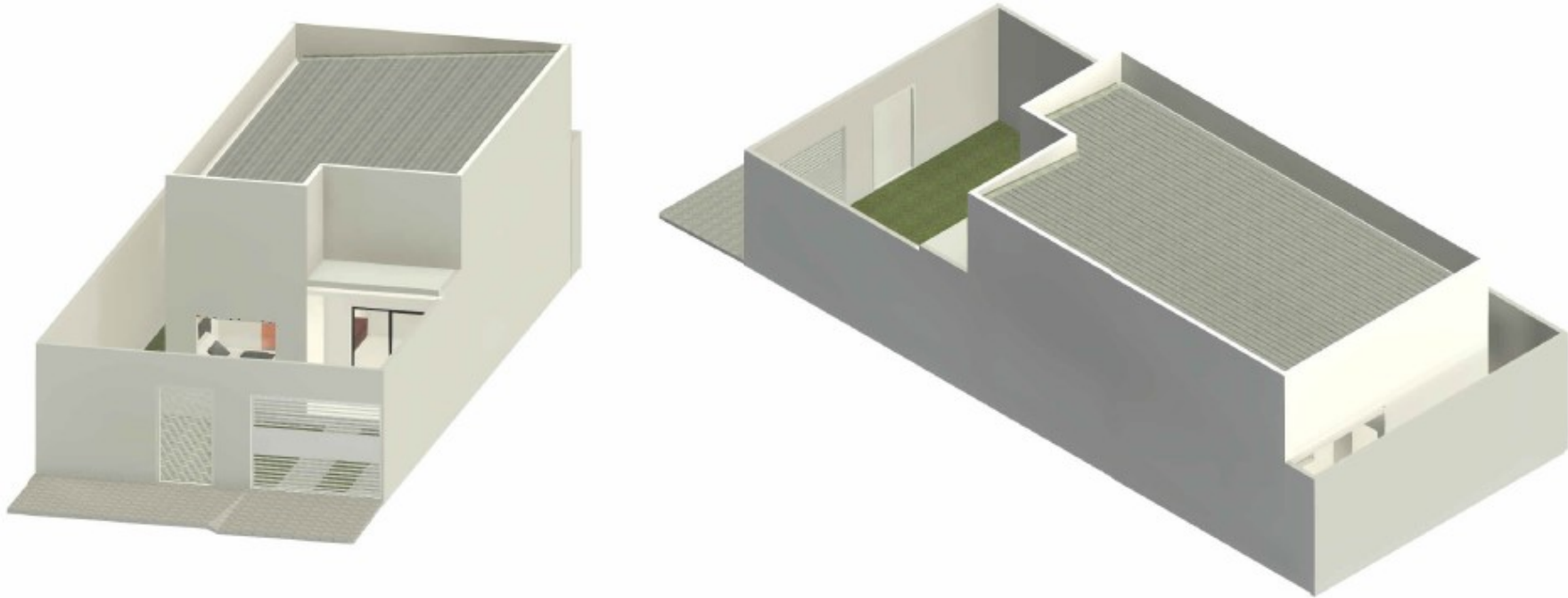
Fonte: Autor, 2024

Figura 37 - Planta de cobertura da unidade em alvenaria de vedação



Fonte: Autor, 2024

Figura 38 - Representação 3D da unidade em alvenaria de vedação



Fonte: Autor, 2024