

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

MARCELO HENRIQUE DA SILVA

**ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CINZAS DE OLARIA EM BLOCOS DE
GESSO: EFEITOS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E SUSTENTABILIDADE**

Cajazeiras-PB
2025

MARCELO HENRIQUE DA SILVA

ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CINZAS DE OLARIA EM BLOCOS DE GESSO: EFEITOS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E SUSTENTABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva.

Cajazeiras-PB
2025

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S586a Silva, Marcelo Henrique da.
Análise da incorporação de cinzas de olaria em blocos de gesso :
efeitos nas propriedades mecânicas e sustentabilidade / Marcelo
Henrique da Silva.– 2025.

58f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da
Paraíba, Cajazeiras, 2025.

Orientador(a): Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva.

1. Construção civil. 2. Resíduos industriais - Reuso. 3. Cinza de
olaria . 4. Sustentabilidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

MARCELO HENRIQUE DA SILVA

ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CINZAS DE OLARIA EM BLOCOS DE GESSO: EFEITOS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E SUSTENTABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 19 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
CICERO JOELSON VIEIRA SILVA
Data: 29/08/2025 12:13:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB *Campus* Cajazeiras
Orientador



Documento assinado digitalmente
ELIOENAI DE OLIVEIRA COSTA
Data: 29/08/2025 12:09:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Elioenai de Oliveira Costa – IFPB *Campus* Cajazeiras
Examinador 1



Documento assinado digitalmente
ROBSON ARRUDA DOS SANTOS
Data: 29/08/2025 11:48:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Robson Arruda dos Santos – IFPB *Campus* Cajazeiras
Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de força e sabedoria, que me sustentou ao longo de toda a minha jornada.

À minha família, em especial aos meus pais, Geraldo e Maria Aparecida, e à minha querida avó Josefa, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio incondicional e incentivo para que eu seguisse em busca dos meus objetivos. Sem o amor, a dedicação e os ensinamentos deles, essa conquista não seria possível.

À minha irmã, Rafaela Henrique, por estar sempre ao meu lado, me apoiando em todos os momentos e contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional. Seu incentivo e companhia foram fundamentais nessa caminhada.

Aos meus colegas de curso, Aluska, Ane Caroline, Mayk, Signey, Thauam e, em especial, Fernanda Garcia, que esteve comigo desde o início da graduação, o companheirismo e a parceria de cada um foram fundamentais para o meu desenvolvimento pessoal e profissional. Tive a oportunidade de compartilhar momentos incríveis ao lado de vocês, enfrentando desafios, conquistas e aprendizados que tornaram essa jornada ainda mais especial.

Aos meus amigos de longa data, Daniel, Mateus, Rhuan e Ryan, que, de forma indireta, mas igualmente significativa, estiveram ao meu lado ao longo dessa jornada: o apoio, a amizade e os momentos compartilhados foram essenciais para me manter motivado e seguir em frente. Sou grato por cada palavra de incentivo e por saber que sempre pude contar com vocês.

Ao meu professor e orientador, Cicero Joelson Vieira Silva, cuja excelência e dedicação foram fundamentais para a realização deste trabalho, sou imensamente grato por sua disposição em compartilhar conhecimentos, pelo apoio contínuo e pela confiança depositada em mim ao longo desse processo. Sua orientação não apenas contribuiu para o desenvolvimento deste estudo, mas também foi essencial para o meu crescimento acadêmico e profissional, inspirando-me a buscar sempre mais conhecimento.

Ao coordenador do curso, Gastão Coelho de Aquino Filho, minha imensa gratidão por todos os ensinamentos transmitidos, pela dedicação e pelo constante apoio.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB *Campus* Cajazeiras, minha sincera gratidão por proporcionar uma formação de excelência. Foram anos de aprendizado, crescimento e experiências inesquecíveis, que contribuíram para a realização do meu sonho.

RESUMO

A construção civil é um dos setores fundamentais para o desenvolvimento econômico e social, mas também está entre os que mais consomem recursos naturais e geram grandes volumes de resíduos sólidos. Nesse cenário, o reaproveitamento de resíduos surge como alternativa sustentável. Este trabalho analisou a incorporação de cinzas de olaria, subproduto da queima de tijolos e telhas cerâmicas, em blocos de gesso. Foram produzidas misturas com 5% e 10% de adição de cinza, em substituição ao gesso, submetidas a ensaios para avaliar propriedades físicas e mecânicas. Os resultados indicaram que a adição do resíduo contribuiu para melhorias em todas as propriedades avaliadas dos blocos, como resistência à flexão, dureza superficial, densidade e capacidade de absorção de água, com desempenho superior nas amostras modificadas (T-5 e T-10) em relação à amostra de referência (T-0). Concluiu-se que a incorporação de cinzas de olaria é viável técnica e ambientalmente, promovendo um destino adequado aos resíduos e melhorias no produto final.

Palavras-chave: reaproveitamento de resíduos; cinza de olaria; blocos de gesso; desempenho mecânico; construção sustentável.

ABSTRACT

Civil construction is one of the fundamental sectors for economic and social development, but it is also among those that consume the most natural resources and generate large volumes of solid waste. In this scenario, waste reuse emerges as a sustainable alternative. This study analyzed the incorporation of pottery ash, a by-product of the firing of bricks and ceramic tiles, into gypsum blocks. Mixtures with 5% and 10% ash addition were produced and subjected to tests to evaluate physical and mechanical properties. The results indicated that the addition of the waste contributed to improvements in all evaluated properties of the blocks, such as flexural strength, surface hardness, density, and water absorption capacity, with superior performance in the modified samples (T-5 and T-10) compared to the reference sample (T-0). It was concluded that the incorporation of pottery ash is technically and environmentally feasible, promoting an appropriate destination for waste and improvements in the final product.

Keywords: waste reuse; pottery ash; gypsum blocks; mechanical performance; sustainable construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Municípios que compõem o APL gesso do Araripe.	17
Figura 2 – Peneiramento do gesso.	23
Figura 3 – Determinação da massa unitária.	24
Figura 4 – Determinação da massa específica.	25
Figura 5 – Determinação da consistência.	25
Figura 6 – Determinação do tempo de pega.	26
Figura 7 – Preparação dos corpos de prova para determinação da leitura com o durômetro ...	27
Figura 8 – Corpo de prova na prensa e seu rompimento.	28
Figura 9 – Mistura dos componentes para a produção dos blocos.	29
Figura 10 – Confeção dos blocos.	29
Figura 11 – Desmoldagem dos blocos.	29
Figura 12 – Determinação da espessura no centro do bloco.	31
Figura 13 – Determinação da espessura no centro do bloco em laboratório.	31
Figura 14 – Determinação do comprimento dos blocos.	31
Figura 15 – Determinação do comprimento dos blocos no laboratório.	32
Figura 16 – Determinação da altura do bloco.	32
Figura 17 – Determinação da altura do bloco em laboratório.	33
Figura 18 – Medidas das espessuras.	33
Figura 19 – Determinação das medidas das espessuras em laboratório.	34
Figura 20 – Determinação da massa do bloco de gesso.	34
Figura 21 – Blocos submersos.	35
Figura 22 – Preenchimento dos vazios com espuma expansiva.	36
Figura 23 – Determinação da massa dos blocos.	36
Figura 24 – Determinação da resistência à flexão dos blocos de gesso.	37
Figura 25 – Determinação da dureza do bloco.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 4 – Valores do MF obtidos no ensaio de granulometria.....	39
Tabela 5 – Resultados da caracterização da massa unitária	41
Tabela 6 – Resultados da caracterização da massa específica.....	41
Tabela 7 – Resultados da consistência normal das pastas de gesso	42
Tabela 8 – Resultados do tempo de pega das misturas	43
Tabela 9 – Resultados da dureza do gesso no estado endurecido	45
Tabela 10 – Resultados da resistência à compressão do gesso no estado endurecido.....	46
Tabela 11 – Resultados da densidade dos blocos	47
Tabela 12 – Resultados da absorção de água nos blocos	49
Tabela 13 – Resultados da resistência à flexão dos blocos	50
Tabela 14 – Resultados da dureza dos blocos	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	GESSO	14
3.1.1	Produção do Gesso	14
3.1.2	Propriedades, vantagens e desvantagens	15
3.2	RESERVA DE GIPSITA	15
3.3	BLOCOS DE GESSO	17
3.3.1	Produção de blocos de gesso	17
3.3.2	Propriedades	18
3.4	CINZAS DE OLARIA	19
3.4.1	Aplicação de cinzas de olaria	19
3.4.2	Cinzas de olaria e o meio ambiente	20
4	METODOLOGIA	21
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	21
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.2.1	Coleta e amostragem de materiais	22
4.2.2	Caracterização da cinza de olaria e do gesso	22
4.2.3	Caracterização do gesso no estado fresco	25
4.2.4	Caracterização do gesso no estado endurecido	26
4.2.5	Produção de blocos de gesso	29
4.2.6	Caracterização dos blocos de gesso	30
5	RESULTADOS E ANÁLISES	39

5.1	CARACTERIZAÇÃO DO GESSO EM PÓ E DAS CINZAS DE OLARIA	39
5.1.1	Caracterização granulométrica e Módulo de Finura (MF).....	39
5.1.2	Caracterização da massa unitária e massa específica.....	41
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO GESSO EM PASTA	42
5.2.1	Consistência normal	42
5.2.2	Tempo de pega	43
5.3	CARACTERIZAÇÃO DO GESSO NO ESTADO ENDURECIDO	45
5.3.1	Dureza	45
5.3.2	Resistência à compressão	46
5.4	CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE GESSO.....	47
5.4.1	Densidade.....	47
5.4.2	Absorção de água	48
5.4.3	Resistência à flexão.....	50
5.4.4	Dureza	51
5.5	VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL.....	52
6	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil exerce um papel fundamental nos âmbitos social, econômico e político de um país. Com isso, a demanda por materiais de construção cresce consideravelmente, levando ao aumento do consumo, especialmente no que diz respeito a materiais essenciais como o cimento e o concreto. Nesse contexto, destacam-se os materiais de gesso, bem como placas, revestimentos e blocos. Portanto, esses materiais são extensivamente empregados na indústria da construção devido à sua versatilidade, propriedades e benefícios, que atendem plenamente às demandas do setor industrial (Beserra, 2023).

No Brasil, o estado que se destaca como um dos principais produtores dessa matéria-prima é Pernambuco. Essa produção está concentrada no Polo Gesseiro do Araripe, que abrange uma vasta extensão territorial de 680 km² e engloba os municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Ouricuri, Bodocó, Moreilândia e Exu. Essa região assume um papel fundamental na produção de gesso no Brasil devido à sua significativa reserva de gipsita, contribuindo de maneira notável para a economia local (Cordeiro; Paiva, 2015).

A gipsita, um sulfato de cálcio natural hidratado, desempenha um papel fundamental como matéria-prima na fabricação de uma ampla variedade de produtos em diversos setores. Segundo o Anuário Estatístico da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM, 2021), em 2020 o Brasil teve um acréscimo de 2% em sua produção mundial de gesso, atingindo 3,2 milhões de toneladas. Essa quantidade expressiva ressalta a importância desse recurso natural e sua relevância na economia regional e nacional.

De acordo com Haubrick e Gonçalves (2020), a produção de detritos sólidos é uma das questões ambientais mais preocupantes, visto que frequentemente são desconsideradas as estratégias sustentáveis e a disposição final adequada desses resíduos. Meireles e Rassi (2022) apontam que a área da construção civil é reconhecida como um dos setores que mais contribuem para a degradação do meio ambiente, desde a extração de matérias-primas até a fabricação de materiais. Logo, essa prática pode representar uma ameaça para as gerações futuras.

O avanço econômico tem influenciado progressivamente o aumento da quantidade de resíduos gerados no setor industrial, os quais causam grande impacto no consumo de recursos naturais (Pinheiro *et al.*, 2021). Nesse cenário, a produção de cinzas de olaria, resíduos sólidos provenientes da fabricação de materiais cerâmicos, tais como tijolos, telhas e outros tipos de produtos, representa um desafio adicional, sendo o Brasil o segundo maior produtor de cerâmica do mundo. Segundo Costa *et al.* (2020), as cinzas de olaria e seu descarte inadequado agravam problemas como a poluição e o assoreamento de corpos hídricos, causando impactos diretos no

solo e na saúde da população.

A utilização desses resíduos tem se destacado como uma estratégia eficaz para reduzir os impactos ambientais. Diante disso, o setor da construção civil tem buscado soluções inovadoras, como a incorporação de cinzas em materiais alternativos. A incorporação desses resíduos tem sido objeto de estudos e pesquisas, visando avaliar sua eficiência e sua contribuição para a sustentabilidade, transformando-os em recursos valiosos no cenário da construção (Rocha *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, este trabalho busca analisar a incorporação dessas cinzas na fabricação de blocos de gesso, com a finalidade de reduzir o uso de matéria-prima, minimizando a exploração de recursos naturais e contribuindo para o avanço da tecnologia na construção civil.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo, apresenta-se o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho. O primeiro descreve a meta ideia que se pretende alcançar com a pesquisa, orientando toda a condução do estudo. Já o segundo detalha as etapas necessárias para atingir esse propósito, estruturando a abordagem metodológica e direcionando a coleta e análise dos dados.

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os efeitos da incorporação de diferentes percentuais de cinza de olaria nas propriedades físicas e mecânicas de blocos de gesso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender as propriedades físicas dos materiais constituintes (gesso e cinza de olaria) e suas implicações no desempenho do produto;
- verificar a viabilidade técnica da incorporação da cinza de olaria na produção de blocos de gesso;
- investigar o potencial da solução como alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduos sólidos na construção civil.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento deste trabalho estão apresentados neste capítulo, a partir da revisão de estudos e pesquisas já realizadas, buscando contextualizar o tema, esclarecer conceitos relevantes e identificar contribuições existentes na literatura.

3.1 GESSO

O gesso, ligante inorgânico e quimicamente ativo, é produzido a partir da calcinação e moagem da gipsita, mineral composto por sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Devido às suas propriedades físicas e mecânicas, além do baixo custo energético de produção, é amplamente utilizado na construção civil (Ferreira, 2019).

Segundo Lopes (2017), suas aplicações abrangem revestimentos de tetos e paredes, forros, elementos decorativos, fechamento de blocos leves, paredes internas e painéis termoacústicos. Com os avanços da Revolução Industrial, seu uso expandiu-se para placas de *drywall*, molduras e divisórias (Oliveira, 2019), reforçando sua relevância na construção contemporânea. Vale informar que, segundo Rodrigues (2021), o gesso é utilizado também em setores como saúde, agricultura, indústria cerâmica e decoração. Na medicina, por exemplo, é aplicado em imobilizações ortopédicas e moldes odontológicos.

A maior parcela do valor gerado pela comercialização de produtos derivados do gesso corresponde ao gesso de revestimento e fundição, com 65% do total. Outros 24% são representados por pré-moldados de placas, 8% pelos produtos da mineração e apenas 3% pelos pré-moldados de blocos de gesso (Rodrigues *et al.*, 2023).

3.1.1 Produção do Gesso

A gipsita utilizada na produção de gesso pode ser de origem natural ou proveniente de materiais residuais. O processo de produção envolve extração, preparo, calcinação e seleção (Campos, 2023).

Após a extração, a matéria-prima passa por um processo de beneficiamento, que inclui estocagem, secagem, moagem fina e acondicionamento, de acordo com o tipo de forno a ser utilizado.

A calcinação, fase em que ocorre a desidratação da gipsita, pode ocorrer por via seca, sob pressão atmosférica ou em baixa pressão, gerando o hemidrato β , ou por via úmida, sob

pressão de vapor d'água saturante, obtendo o hemidrato α (Barbosa; Ferraz; Santos, 2014). A desidratação controlada da gipsita, sob diferentes condições de temperatura e pressão, resulta na formação das seguintes fases: hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), anidrita III ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{eH}_2\text{O}$), anidrita II (CaSO_4) e anidrita I (CaSO_4).

Em seguida, o material é moído por moinhos de martelos, com peneiras de malha entre 0,6 mm e 0,8 mm, para garantir uma granulometria fina; ensilado, a fim de preservar suas propriedades; passa por uma nova moagem, é ensacado em embalagens de 20 kg ou 40 kg, constituídos por 2 ou 3 folhas de papel, ou em sacos maiores, como big bags de 100 kg, ou ainda, em rafias com capacidade para 30 kg; por fim, é armazenado e comercializado (Ribeiro, 2011).

3.1.2 Propriedades, vantagens e desvantagens

O gesso apresenta alta plasticidade, o que permite uma fácil modelagem da pasta; rápido tempo de pega, acelerando o processo construtivo; finura compatível com a do cimento, resultando em um acabamento suave; baixa retração durante a secagem, reduzindo o risco de deformações; e estabilidade volumétrica, que assegura a manutenção das dimensões após a aplicação (Pires Sobrinho, 2021). Além disso, ele proporciona isolamento térmico e acústico, instalação rápida e uso racional de espaço (Sousa, 2022). Essas características tornam o gesso uma excelente escolha para a fabricação de elementos pré-moldados, garantindo eficiência e qualidade no processo construtivo.

Contudo, possui algumas limitações técnicas. Além da suscetibilidade à proliferação de fungos e bactérias, especialmente em locais fechados e com pouca ventilação, sua baixa resistência a impactos e à umidade o torna inadequado para ambientes externos (Araujo; Farias, 2021).

3.2 RESERVA DE GIPSITA

Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2018), a produção global de gipsita atingiu 260 milhões de toneladas (M_t) em 2017. Nesse cenário, a China se consolidou como principal produtor, respondendo por 130 milhões de toneladas, o equivalente a metade de toda a produção mundial. O Brasil, por sua vez, posicionou-se entre os vinte maiores produtores do mundo, com uma produção de aproximadamente 2,1 milhões de toneladas, o que representava cerca de 0,8% do total global naquele ano, vide Tabela 1.

Tabela 1 – Reserva e produção mundial de gipsita.

Discriminação	Reservas (Mt)	Produção (Mt)	
		2017 ^(p)	(%)
Países	2016 ^(p)	2017 ^(p)	(%)
1° China	nd	130.000	50,0
2° EUA	700.000	17.500	6,7
3° Irã	1.600	16.000	6,2
4° Tailândia	nd	11.000	4,2
5° Turquia	170.000	9.000	3,5
6° Itália	nd	8.600	3,3
7° Espanha	nd	7.000	2,7
8° Omã	4.900	6.000	2,3
9° México	nd	5.400	2,1
10° Japão	nd	4.700	1,8
11° Rússia	nd	4.400	1,7
12° Índia	39.000	3.500	1,3
13° França	nd	3.300	1,3
14° Austrália	nd	2.600	1
15° Egito	nd	2.200	0,8
16° Brasil	450.000	2.113	0,8
17° Argélia	nd	2.100	0,8
18° Arábia Saudita	nd	1.900	0,7
19° Alemanha	nd	1.800	0,7
20° Paquistão	nd	1.700	0,7
21° Canadá	450.000	1.600	0,6
22° Argentina	nd	1.500	0,6
23° Reino Unido	30.000	1.200	0,5
Outros países	nd	14.887	5,7
TOTAL	nd	260.000	100

(p) dado preliminar; (nd) dado não disponível

Fonte: ANM/SRDM; USGS-Mineral Commodity Summaries (2018).

No Brasil, a gipsita é um minério de grande destaque, especialmente nas reservas localizadas na Chapada do Araripe, que abrange partes dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí. De acordo com o Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco (SINDUSGESSO, 2024), no referido estado, os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, situados na microrregião de Araripina, concentram algumas das ocorrências mais importantes de gipsita, reconhecida por sua alta qualidade e pureza, com teores variando entre 88% e 98%.

O Arranjo Produtivo Local - APL do Gesso do Araripe é um *cluster* de empresas dedicadas à extração mineral e à fabricação de derivados do gesso, localizado na região gesseira do Araripe. Ele abrange os municípios de Araripina, Ipubi, Exu, Moreilândia, Granito, Bodocó,

Trindade, Ouricuri, Santa Cruz e Santa Filomena, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Municípios que compõem o APL gesso do Araripe.



Fonte: Angelotti *et al.* (2021).

A Tabela 2 apresenta a porcentagem da produção de gipsita por estado e respectivos municípios.

Tabela 2 – Estados produtores de gipsita.

Estado	% Produção	Municípios
Pernambuco	97%	Araripina, Trindade, Ipupi, Ouricuri, Bodocó
Maranhão	2,3%	Grajaú, Codó, Balsas
Ceará	0,6%	Nova Olinda
Tocantins	0,1%	Filadélfia

Fonte: SINDUSGESSO (2024).

3.3 BLOCOS DE GESSO

De acordo com a Norma Brasileira - NBR 16494 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017a), os blocos de gesso são elementos produzidos industrialmente, compostos predominantemente por gesso, com formato paralelepípedo. Esses blocos podem ser sólidos ou ocos e apresentam duas superfícies planas e lisas, além de possuírem encaixes côncavos e convexos em lados opostos para facilitar sua instalação.

Destaca-se que o uso de blocos de gesso tem se tornado cada vez mais frequente na construção civil, especialmente para a divisão de ambientes internos (paredes), devido à sua funcionalidade e ao acabamento fino que proporciona (Souza, 2022).

3.3.1 Produção de blocos de gesso

O processo de fabricação de blocos de gesso muitas vezes apresenta um caráter bastante artesanal. Contudo, existem tecnologias mais avançadas que utilizam dosadores automáticos de água e pó, além de equipamentos hidráulicos para a preparação da pasta e a conformação dos blocos por fundição.

Conforme Pires Sobrinho (2023), a produção artesanal é utilizada por empresas de pequeno porte. A mistura é feita de forma manual, com uma quantidade específica de água, em um agitador mecânico. Em seguida, os moldes são preenchidos manualmente. Esse processo utiliza uma mesa com tampo liso e impermeável, esquadros feitos em perfis de duralumínio e tubos acrílicos - no caso de blocos vazados. A secagem dos blocos é realizada de forma manual, em estantes. Já no processo industrial, são empregados equipamentos automatizados, incluindo formas em aço inoxidável com acionamento hidráulico para a conformação de furos internos ou blocos maciços, além de sistemas de extrusão e remoção automática dos blocos das formas.

A produção de placas e blocos de gesso no Brasil atinge cerca de 2.800.000 m² por mês, conforme apresentado na Tabela 3, que representa a produção por porte de empresas no polo gesseiro nacional (Rodrigues *et al.*, 2023).

Tabela 3 – Estimativa da produção total mensal no Polo Gesseiro por porte de empresas.

Tipo de atividade/Porte da empresa	Micro	Pequeno	Médio	Médio grande	Total
Fabricação de placas e blocos de gesso (m²/mês)	2.772.000	19.600	5.600	2.800	2.800.000

Fonte: Adaptado de Rodrigues *et al.* (2023).

3.3.2 Propriedades

As principais propriedades dos blocos de gesso para vedação vertical incluem densidade, capacidade de absorção de água, resistência à flexão e dureza superficial. De acordo com a NBR 16495 (ABNT, 2016), a densidade é definida como a relação entre a massa e o volume do bloco, enquanto a dureza superficial refere-se à resistência do bloco à penetração. Esses atributos são essenciais para garantir a eficiência, durabilidade e segurança dos blocos em aplicações na construção civil, influenciando diretamente o desempenho estrutural das edificações.

As alvenarias construídas com blocos de gesso oferecem diversas vantagens. As dimensões padronizadas (666,7 × 500 × 730) mm possibilitam a construção de 1 m² de alvenaria com apenas três blocos, aumentando significativamente a produtividade. Além disso, o uso exclusivo de blocos e gesso-cola promove um processo de construção limpo e quase seco. Os encaixes tipo macho-fêmea simplificam a execução de alvenarias moduladas e niveladas. A facilidade de corte com serra permite o reaproveitamento de sobras e o embutimento de instalações elétricas e de comunicação, reduzindo o desperdício de materiais e aumentando a praticidade na execução (Pires Sobrinho, 2021).

3.4 CINZAS DE OLARIA

O Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor mundial de cerâmica. As olarias, locais onde os materiais cerâmicos são produzidos, também são conhecidas pela significativa geração de resíduos ao longo do processo produtivo (Beserra, 2023).

De acordo com Assunção *et al.* (2019), as indústrias cerâmicas geram uma quantidade considerável de resíduos, que são liberados no ambiente sob a forma de gases e materiais sólidos, resultando em impactos ambientais significativos. O processo de fabricação começa com a extração da argila das jazidas, seguida pela preparação da matéria-prima, modelagem das peças e o processo de secagem, culminando na etapa de queima. Nessa última fase, a lenha é amplamente utilizada como fonte de energia, o que leva à formação das Cinzas de Olaria (CZO).

A produção de cerâmica nas olarias gera uma quantidade substancial de cinzas, que muitas vezes são descartadas de maneira inadequada, provocando danos ambientais. A destinação final dessas cinzas varia e depende da fiscalização local e da responsabilidade ambiental de cada empresa. Elas podem ser depositadas no solo ou utilizadas para a fertilização de áreas degradadas (Assunção *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2020).

3.4.1 Aplicação de cinzas de olaria

As cinzas de olarias possuem uma composição diversificada, o que possibilita sua aplicação em diferentes processos, tais como:

- **Pigmentos cerâmicos:** a utilização das cinzas na produção de pigmentos cerâmicos agrega valor aos resíduos, promove inovação e reduz os custos associados aos reagentes utilizados na fabricação de pigmentos sintéticos (Davi, 2020);
- **Fonte de nutrientes para solos:** a aplicação das cinzas como fonte de nutrientes auxilia na recuperação de solos degradados, minimizando impactos ambientais negativos (Gaudêncio *et al.*, 2018);
- **Composição de cerâmicas tradicionais:** as cinzas podem ser combinadas com filito e argilas em formulações cerâmicas, diversificando as opções de matérias-primas na produção (Santos, 2013);
- **Emprego agrícola:** o uso agrícola das cinzas é uma alternativa sustentável e economicamente vantajosa, beneficiando produtores e o meio ambiente ao proporcionar uma destinação adequada ao material (Arruda *et al.*, 2016).

3.4.2 Cinzas de olaria e o meio ambiente

Silva (2019) observa que o progresso econômico, associado ao aumento da atividade industrial, impulsionou a extração intensiva de recursos naturais não renováveis para atender às demandas de produção decorrentes da superpopulação, especialmente em áreas urbanas em expansão desordenada. Como resultado, surgem questões ambientais interligadas a essa realidade.

Em outra abordagem, Gaudêncio (2016) destaca que as cinzas de olarias, resíduos provenientes da queima de materiais utilizados na produção de tijolos, telhas e outros produtos cerâmicos, ainda não foram plenamente incluídas em processos regulamentados de destinação adequada. Isso resulta na persistência desses resíduos, que podem contribuir para o assoreamento de corpos hídricos localizados nas proximidades de algumas fábricas, gerando impactos ambientais cujas consequências podem ser agravadas caso essa prática persista.

As cinzas de olarias podem causar outros impactos ambientais significativos, como contaminação do solo e da água, poluição do ar por particulados, alteração da fertilidade do solo, impactos na biodiversidade aquática e geração de passivos ambientais.

Diante disso, a ampliação de métodos de reaproveitamento dos resíduos torna-se essencial, fundamentada em uma compreensão detalhada de suas características. Isso permite sua integração em uma variedade de materiais substitutivos (Silva *et al.*, 2020). A gestão de resíduos sólidos é uma parte crucial da proteção ambiental e, nesse contexto, as cinzas de olarias, utilizadas neste estudo, apresentam um potencial significativo para reaproveitamento.

4 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, incluindo a coleta dos materiais, preparação das amostras, incorporação das cinzas ao gesso, moldagem dos blocos e os ensaios físicos e mecânicos realizados.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se por uma abordagem quantitativa, que tem como objetivo analisar a complexidade das hipóteses entre as variáveis, além de compreender e classificar os processos dinâmicos envolvidos (Almeida, 2021). O estudo adota medições precisas de variáveis físicas e mecânicas, com análise dos resultados comparativos entre os traços, quantificando o impacto da adição de cinzas nas propriedades dos blocos.

Trata-se também de um estudo aplicado, voltada à utilização prática do conhecimento gerado, visando possíveis consequências em contextos individuais e coletivos (Prodanov; Freitas, 2013). A pesquisa visa solucionar um problema concreto da construção civil - a destinação sustentável de resíduos de olaria - através do desenvolvimento de blocos de gesso modificados.

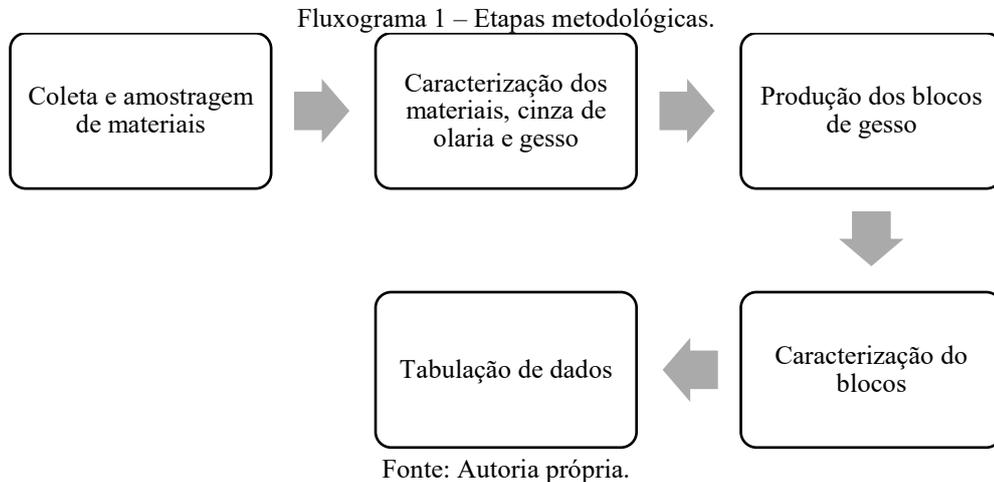
A finalidade do referido trabalho tem cunho explicativo, uma vez que tem por finalidade registrar, classificar e analisar os fenômenos abordados no estudo, com o intuito de identificar os fatores que os determinam ou contribuem para sua ocorrência (Prodanov; Freitas, 2013). O estudo não apenas descreve as propriedades dos blocos, mas investiga as relações causa-efeito entre seus constituintes, traço etc.

Para atender o objetivo do estudo adotou-se como procedimento técnico a pesquisa experimental, pois se baseia em uma estrutura que busca observar as relações entre variáveis, com o devido controle e rigor em sua execução (Menezes *et al.*, 2019). Foram conduzidos ensaios controlados em laboratório, seguindo a normalização vigente.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas pesquisas bibliográficas em sites acadêmicos, como o Portal da CAPES, a Biblioteca Eletrônica Científica Online (SciELO), a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o Science.gov, entre outros. O objetivo foi obter literatura que fornecesse o embasamento necessário para o desenvolvimento do presente estudo, incluindo livros, monografias, dissertações, teses, artigos e outros materiais pertinentes.

Os experimentos para caracterização tanto dos insumos quanto dos blocos foram realizados em laboratórios específicos, seguindo as normas técnicas vigentes. O Fluxograma 1 apresenta a sequência dos procedimentos metodológicos adotados.



4.2.1 Coleta e amostragem de materiais

Os resíduos de cinzas de olaria foram coletados na forma de pó em uma empresa cerâmica localizada no Município de São João do Rio do Peixe - PB. Posteriormente, esses materiais foram transportados para o Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal da Paraíba – IFPB/*Campus* Cajazeiras, onde passaram por um processo de triagem para retirada de impurezas, torrões de carvão etc.

O gesso utilizado foi adquirido em uma loja de materiais de construção do mercado local de Cajazeiras - PB, sendo selecionado um produto com as seguintes características: coloração branca, alta pureza, rápido tempo de pega, estabilidade volumétrica, entre outras propriedades que garantissem bom desempenho na fabricação de pré-moldados, como os blocos em estudo. A escolha do fornecedor baseou-se na reputação técnica do fabricante e em análises preliminares de lotes anteriores, garantindo a qualidade e reprodutibilidade dos ensaios.

4.2.2 Caracterização da cinza de olaria e do gesso

O resíduo de cinza foi utilizado sem beneficiamento prévio, submetendo-se apenas a: secagem natural ao ar livre; condicionamento em estufa a 105°C por 24 horas (para secagem completa), peneiramento padronizado; e posteriormente, submetido aos ensaios de caracterização das cinzas de olaria, visando à avaliação de suas propriedades físicas. Esta etapa foi fundamental para compreender o comportamento do material e otimizar seu uso na produção de componentes construtivos sustentáveis.

Já o gesso foi analisado em três estados distintos: fase em pó (anidro), no estado fresco (pasta) e estado endurecido. O gesso em pó e as cinzas de olaria foram ensaiados seguindo os métodos estabelecidos no Quadro 1.

Quadro 1 – Caracterização do gesso em pó e da cinza de olaria.

Índice	Norma	Amostragem
Granulometria, módulo de finura, massa unitária	NBR 12127 (ABNT, 2019a) - Gesso para construção civil - Determinação das propriedades físicas do pó	2 determinações
Massa específica	NBR 16605 (ABNT, 2017b) - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica	

Fonte: Autoria Própria.

4.2.2.1 Análise granulométrica

Uma amostra de 50 g foi submetida à secagem em estufa com temperatura controlada a $40 \pm 2^\circ\text{C}$. Após a secagem, realizou-se o peneiramento sequencial utilizando quatro peneiras vibratórias normalizadas pela ABNT, com as seguintes aberturas de malha: 0,84 mm (malha nº 20), 0,420 mm (malha nº 40), 0,210 mm (malha nº 70) e 0,105 mm (malha nº 140). O processo iniciou-se pela peneira de maior abertura, seguindo em ordem decrescente até a menor, conforme Figura 2.

Figura 2 – Peneiramento do gesso



Fonte: Autoria própria.

Para classificação do gesso, 50 g de amostra foram vertidas nas peneiras de 0,29 mm (material passante $\geq 90\%$ - gesso para fundição) e 0,21 mm (material passante $\geq 90\%$ - gesso para revestimento).

Ao final, foi determinada a distribuição granulométrica do material em ambos os materiais. O Módulo de Finura (MF) foi calculado mediante a Equação 1.

$$MF = \frac{\Sigma Ra}{100} \quad (1)$$

Onde: MF é o módulo de finura; e ΣRa é o somatório do percentual retido acumulado em cada peneira.

4.2.2.2 Massa unitária

A amostra foi vertida uniformemente aos poucos, sem compactação, em um recipiente volumétrico calibrado (volume e massa previamente determinados). Em seguida foi determinada a massa do conjunto, Figura 3.

Figura 3 – Determinação da massa unitária.



Fonte: Autoria própria.

O resultado foi obtido pela Equação 2.

$$M_u = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Onde: M_u é a massa unitária, em gramas por centímetros cúbicos (g/cm^3); M é a massa do material particulado, em gramas (g); e V é o volume total ocupado, incluindo vazios entre partículas, em centímetros cúbicos (cm^3).

4.2.2.3 Massa específica

Adicionou-se uma massa conhecida de gesso a um frasco volumétrico, chamado de Le Chatelier, previamente preenchido com querosene até a marcas as marcas de 0 a 1 cm^3 . Após a adição do material, verificou-se o volume final do líquido, e a diferença entre os volumes inicial e final corresponde ao volume ocupado pelo gesso, Figura 4.

Figura 4 – Determinação da massa específica.



Fonte: Autoria própria.

Para cálculo do índice, foi utilizada a Equação 3.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Onde: ρ é a massa específica (g/cm^3); m é a massa do material ensaiado (g); e V é o volume deslocado pela massa do material inserido, desconsiderando os vazios (cm^3).

4.2.3 Caracterização do gesso no estado fresco

Os ensaios de caracterização da mistura no estado fresco (pasta) serviram como referência para a formulação das demais composições. Os experimentos foram realizados de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Caracterização do gesso no estado fresco.

Índice	Norma	Amostragem
Consistência normal e tempo de pega	NBR 12128 (ABNT, 2019b) - Gesso para construção civil - Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso	2 determinações

Fonte: Autoria Própria.

4.2.3.1 Consistência normal

Preparou-se uma pasta homogênea mediante mistura do gesso em pó com água destilada, que foi então colocada no molde do aparelho de Vicat modificado. A profundidade de penetração da agulha padrão foi monitorada, ajustando-se sistematicamente a quantidade de água até alcançar os 30 mm especificados por norma, Figura 5. A consistência normal foi definida pela razão entre a massa de água e a massa de gesso utilizados no ensaio.

Figura 5 – Determinação da consistência.



Fonte: Autoria própria.

4.2.3.2 Tempo de Pega

Preparou-se a pasta empregando a relação água/gesso previamente estabelecida no ensaio de consistência normal. A mistura homogênea foi vertida no molde metálico do aparelho de Vicat, realizando-se medições periódicas da profundidade de penetração da agulha padrão em intervalos regulares. O início de pega foi determinado no instante que a agulha penetrou a amostra e estacionou a 1 mm da base. Já o fim de pega foi caracterizado no instante em que a agulha não penetrava mais a amostra, promovendo somente uma leve impressão na sua superfície, Figura 6.

Figura 6 – Determinação do tempo de pega.



Fonte: Autoria própria.

4.2.4 Caracterização do gesso no estado endurecido

Para os ensaios mecânicos, foram confeccionados corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta para cada tipo de gesso (mistura), em moldes padronizados, impermeáveis e quimicamente inertes, garantindo uniformidade e cura adequada do material. As pastas foram preparadas conforme as diretrizes da norma, utilizando a relação água/gesso (a/g) previamente determinada no ensaio de consistência normal, garantindo a padronização e a reprodutibilidade dos resultados. Os experimentos foram realizados conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Caracterização do gesso no estado endurecido.

Índice	Norma	Amostragem
Dureza e resistência à compressão	NBR 13207-3 (ABNT, 2023) - Gesso para construção civil Parte 3: Determinação das propriedades mecânicas	3 determinações

Fonte: Autoria Própria.

Para preparar a quantidade de massa de gesso necessária para obtenção do volume de pasta suficiente para o preenchimento do molde de três corpos de prova, aplicou-se a Equação 4.

$$M_g = \frac{480}{0,4 + C} \quad (4)$$

Onde: M_g é a massa de gesso (g) e C é a relação água/gesso determinada.

Para a massa de água necessária à mistura a Equação 5 foi utilizada.

$$M_a = M_g \times C \quad (5)$$

Onde: M_a é a massa de água (g); M_g é a massa do gesso (g); e C é a relação água/gesso determinada.

Após o período de cura em condições específica, foram realizados os testes de dureza superficial e resistência à compressão.

4.2.4.1 Dureza

Foram selecionadas duas faces laterais opostas de cada corpo de prova, em relação à face inferior de moldagem. O durômetro foi então posicionado e baixado até que sua esfera entrasse em contato com a superfície, realizando-se três medições distintas em cada face selecionada. As leituras obtidas no visor do equipamento foram registradas para posterior análise. A dureza final foi determinada mediante cálculo da média aritmética das três leituras de cada face, seguida pela média global dos três corpos de prova ensaiados, Figura 7.

Figura 7 – Determinação da dureza.



Fonte: Autoria própria.

4.2.4.2 Resistência à compressão

A carga foi aplicada em uma das faces laterais dos corpos de prova, desconsiderando tanto a face superior quanto a face previamente utilizada no ensaio de dureza, Figura 8.

Figura 8 – Corpo de prova na prensa e seu rompimento.



Fonte: Autoria própria.

O valor da resistência à compressão foi determinado de acordo com a Equação 6.

$$R = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Onde: P é a carga de ruptura do corpo de prova, em Newton (N); e S é a área da seção transversal de aplicação da carga, em milímetros quadrados (mm^2).

Ao final, os resultados obtidos foram analisados e comparados segundo a NBR 13207-3 (ABNT, 2023), que trata dos requisitos necessários para a caracterização, inspeção e recebimento do gesso utilizado na construção civil para fabricação de elementos, componentes e revestimento de superfícies.

4.2.5 Produção de blocos de gesso

Para a condução da pesquisa, foram elaborados blocos de gesso convencional sem a incorporação de materiais adicionais (T-0), utilizando 11 kg de gesso e 12,5 kg de água, com fator água/aglomerante de 0,88. A partir desses, produziram-se dois tipos adicionais de blocos para avaliação de diferentes composições e propriedades: os blocos sustentáveis T-5 e T-10, nos quais o gesso foi parcialmente substituído por resíduo de cinzas de olaria nas proporções de 5% e 10% em relação à sua massa, respectivamente.

A fabricação artesanal dos blocos de gesso seguiu um processo rigoroso, composto por etapas específicas para garantir a qualidade e as características do produto final. O processo iniciou-se com a homogeneização do gesso e água em um recipiente, utilizando um misturador mecânico, conforme demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Mistura dos componentes para a produção dos blocos.



Fonte: Autoria própria.

Após o preparo das misturas, a pasta foi vertida em formas paralelepípedicas com dimensões de $(66,6 \times 45,5 \times 7,5)$ cm (largura \times comprimento \times espessura). Realizou-se então o acabamento criterioso, removendo-se o excesso de material das fôrmas. Após o completo endurecimento, os blocos foram cuidadosamente desmoldados, conforme ilustrado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Confeção dos blocos.



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Desmoldagem dos blocos.



Fonte: Autoria própria.

4.2.6 Caracterização dos blocos de gesso

Foi realizada uma análise completa dos blocos de gesso, considerando suas dimensões, propriedades físicas e mecânicas. Após o processo de fabricação, tornou-se essencial examinar minuciosamente as características do produto.

A caracterização dos blocos de gesso incluiu a avaliação das seguintes propriedades: absorção, densidade, dureza e resistência à flexão. Todos os ensaios foram conduzidos em conformidade com a norma NBR 16495 (ABNT, 2016), que estabelece os métodos de ensaio para este tipo de material. Os resultados obtidos foram analisados de acordo com a NBR 16494 (ABNT, 2017a), que trata dos requisitos necessários para uso dos blocos na construção civil.

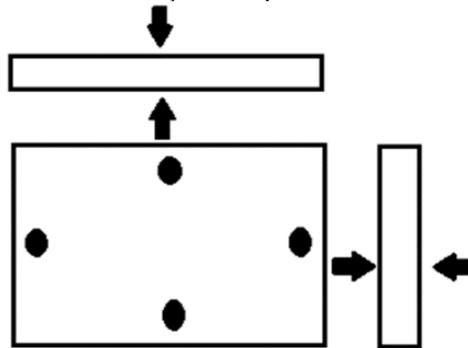
4.2.6.1 Determinação da espessura

Foi realizada a partir da média aritmética das medidas das espessuras das quatro arestas, vide Equação 7.

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4}{4} \quad (7)$$

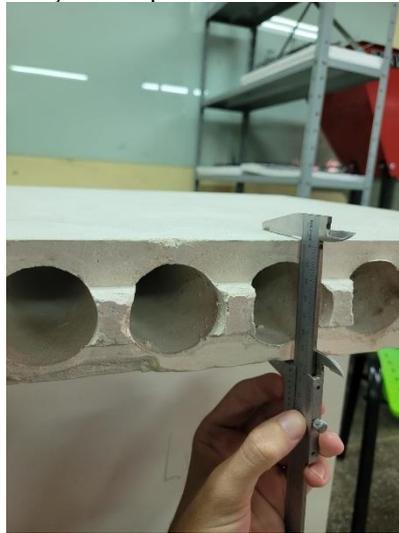
Onde: E_m é a espessura média, em milímetros (mm); e E_1, E_2, E_3 e E_4 são as espessuras medidas nas quatro arestas, em (mm). As medidas das espessuras foram tomadas no centro, conforme indicado nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Determinação da espessura no centro do bloco.



Fonte: NBR 16495 (ABNT, 2016).

Figura 13 – Determinação da espessura no centro do bloco em laboratório.



Fonte: Autoria própria.

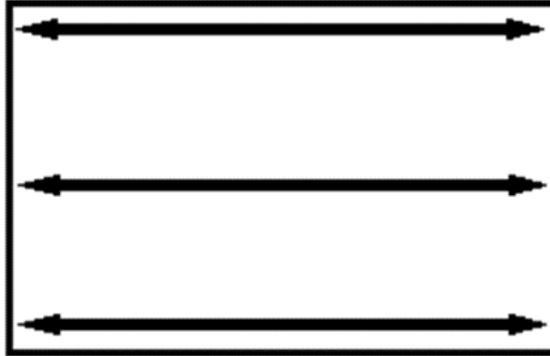
4.2.6.2 Determinação do comprimento

Foi realizada a partir da média aritmética de três medidas efetuadas sobre uma das faces lisas, na direção da maior dimensão, vide Equação 8.

$$C_m = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} \quad (8)$$

Onde: C_m é o comprimento médio, em milímetros (mm); e C_1 , C_2 e C_3 são os comprimentos medidos na face lisa do bloco (mm). A primeira medida foi efetuada passando pelo centro da superfície, e as outras duas foram realizadas paralelamente à primeira, a 5,0 cm das bordas, conforme demonstrado nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Determinação do comprimento dos blocos.



Fonte: NBR 16495 (ABNT, 2016).

Figura 15 – Determinação do comprimento dos blocos no laboratório.



Fonte: Autoria própria.

4.2.6.3 Determinação da altura do bloco

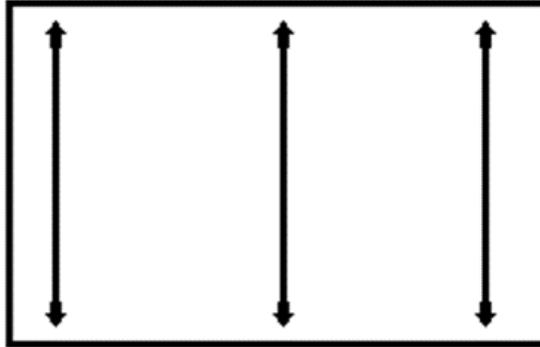
Foi realizada a partir da média aritmética de três medidas efetuadas sobre uma das faces lisas, na direção da menor dimensão, vide Equação 9.

$$A_m = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} \quad (9)$$

Onde: A_m é a altura média, em milímetros (mm) e A_1 , A_2 e A_3 são as alturas medidas na face lisa do bloco (mm). A primeira medida foi realizada passando pelo centro da superfície,

e as outras duas foram tomadas paralelas à primeira, a 5,0 cm das bordas, conforme demonstrado nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 – Determinação da altura do bloco.



Fonte: NBR 16495 (ABNT, 2016).

Figura 17 – Determinação da altura do bloco em laboratório.

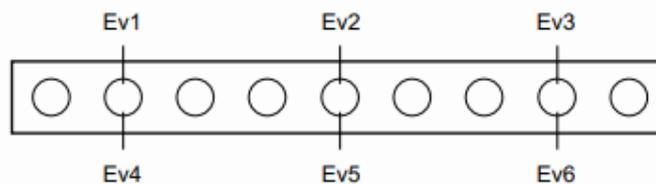


Fonte: Autoria própria.

4.2.6.4 Medida da espessura da superfície do vazado

Foi realizada a partir da média aritmética das espessuras em três furos (mm), conforme demonstrado nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Medidas das espessuras.



Fonte: NBR 16495 (ABNT, 2016).

Figura 19 – Determinação das medidas das espessuras em laboratório.



Fonte: Autoria própria.

4.2.6.5 Densidade

Foi determinada pela relação entre sua massa e seu volume, conforme Equação 10.

$$D = \frac{M_2}{V_t - V_v} \quad (10)$$

Onde: D é a densidade do bloco, em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3); M_2 é a massa do bloco, em quilogramas (kg); V_t é o volume total do bloco, em metros cúbicos, m^3 ; e V_v é o volume de vazio, em m^3 .

Os blocos foram colocados em uma balança para a obtenção da massa (M_2), um total de duas amostras, Figura 20.

Figura 20 – Determinação da massa do bloco de gesso.



Fonte: Autoria própria

Já o seu volume ($V_t - V_v$) foi calculado conforme a Equação 11.

$$V_t = E_m \times C_m \times A_m \quad (11)$$

Onde: V_t é o volume total do bloco, em metros cúbicos (m^3); E_m é a espessura média, em metros (m); C_m é o comprimento médio, expresso em metros (m); e A_m é a altura média, expressa em metros (m).

4.2.6.6 Capacidade de absorção

Os blocos foram submetidos à imersão total em reservatório de água por 120 minutos, assegurando-se que a face inferior permanecesse suspensa sem contato com o fundo, enquanto a face superior foi mantida coberta por uma lâmina d'água de (5 ± 1) cm, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Blocos submersos.



Fonte: Autoria Própria.

Previamente ao ensaio de absorção, procedeu-se à vedação de todos os alvéolos dos blocos com espuma expansiva à base de poliuretano. Este material selante, de natureza elástica e adesiva, apresenta elevada resistência às intempéries e tempo de cura aproximado de dez minutos. A aplicação foi realizada meticulosamente, assegurando o preenchimento integral de todas as cavidades e a impermeabilização dos blocos durante o ensaio.

Para garantir a eficiência da vedação, todos os alvéolos foram submetidos à limpeza prévia, eliminando quaisquer resíduos que pudessem afetar a adesão do selante, vide Figura 22. A etapa final consistiu na determinação da massa dos corpos de prova, Figura 23. Duas amostras foram ensaiadas.

Figura 22 – Preenchimento dos vazios com espuma expansiva.



Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Determinação da massa dos blocos.



Fonte: Autoria própria.

A capacidade de absorção é determinada pela Equação 12.

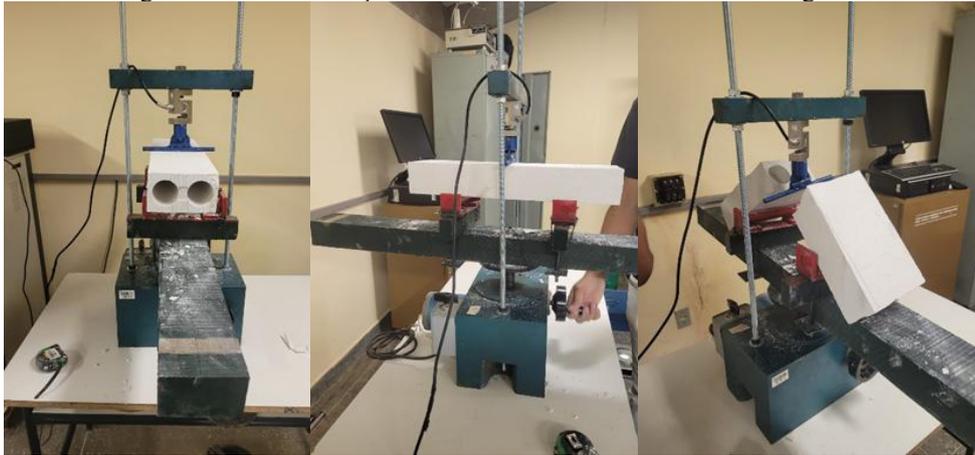
$$A_b = \frac{M_4 - M_3}{M_3} \times 100 \quad (12)$$

Onde: A_b é a absorção de água, em porcentagem (%); M_3 é a massa do bloco (kg); e M_4 é a massa obtida após imersão do bloco por 120 minutos (kg).

4.2.6.7 Módulo de resistência à flexão

Os blocos foram seccionados longitudinalmente no sentido paralelo aos vazios, sem a presença de encaixes, resultando em corpos de prova com dois furos cada. O corte foi executado de modo a preservar a máxima espessura da parede dos furos, garantindo a adequação dos corpos de prova para realização dos ensaios, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 – Determinação da resistência à flexão dos blocos de gesso.



Fonte: Autoria própria.

Para o ensaio de resistência à flexão, os corpos de prova foram posicionados horizontalmente sobre os cutelos de apoio, com o cutelo superior alinhado precisamente ao centro do espécime. A carga foi aplicada de forma progressiva e controlada até a ocorrência da ruptura. Esse índice foi calculado utilizando a Equação 13.

$$R_f = \frac{3 \times P \times L \times h}{2 \times (b \times h^3 - d^4)} \quad (13)$$

Onde: R_f é o módulo de resistência à flexão, expressa em Mega Pascal (MPa); P é a carga de ruptura registrada na prensa, expressa em Newton (N); L é a distância entre os eixos dos cutelos inferiores ($L = 250$ mm); h é a altura do corpo de prova (mm); b é a largura do corpo de prova (mm); e d é o diâmetro dos vazios (mm).

4.2.6.8 Dureza

Foram efetuadas seis medições por face, em pontos alternados, totalizando 12 medições por bloco e por dosagem avaliada. As medições foram conduzidas utilizando um durômetro Shore C, como demonstrado na Figura 25.

Figura 25 – Determinação da dureza do bloco.



Fonte: Autoria própria.

O durômetro é um instrumento amplamente empregado na determinação da dureza de materiais, com aplicação desde os mais rígidos até os mais frágeis. A dureza do material foi determinada em função da profundidade de penetração da esfera no corpo de prova, sendo expressa como a média aritmética dos valores obtidos para cada bloco, apresentada em unidades Shore C (u.s.c.).

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo, apresentam-se os dados obtidos nos ensaios experimentais, analisando os efeitos da incorporação de cinzas de olaria nas propriedades dos blocos de gesso. Os resultados são discutidos com base em comparações entre as amostras T-0 (referência), T-5 (5% cinza) e T-10 (10% cinza).

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO GESSO EM PÓ E DAS CINZAS DE OLARIA

A caracterização do gesso e das cinzas de olaria foi essencial para avaliar como essas propriedades impactam o desempenho dos blocos de gesso, permitindo uma compreensão mais aprofundada de suas influências nas características finais do material.

5.1.1 Caracterização granulométrica e Módulo de Finura (MF)

O módulo de finura, calculado conforme a metodologia estabelecida, serviu como parâmetro fundamental para avaliar a finura dos materiais, onde valores mais baixos indicam partículas mais finas e valores mais altos apontam para uma granulometria mais grossa, vide Tabela 4.

Tabela 4 – Valores do MF obtidos no ensaio de granulometria.

Peneiras (mm)	Gesso	Cinza	T-5	T-10
	% Retida Acumulada	% Retida Acumulada	% Retida Acumulada	% Retida Acumulada
0,840	0	3	0	0
0,420	6	16	7	10
0,210	39	29	42	45
0,105	62	36	67	72
Fundo	100	100	100	100
Módulo de Finura (MF)	1,07	0,84	1,16	1,27

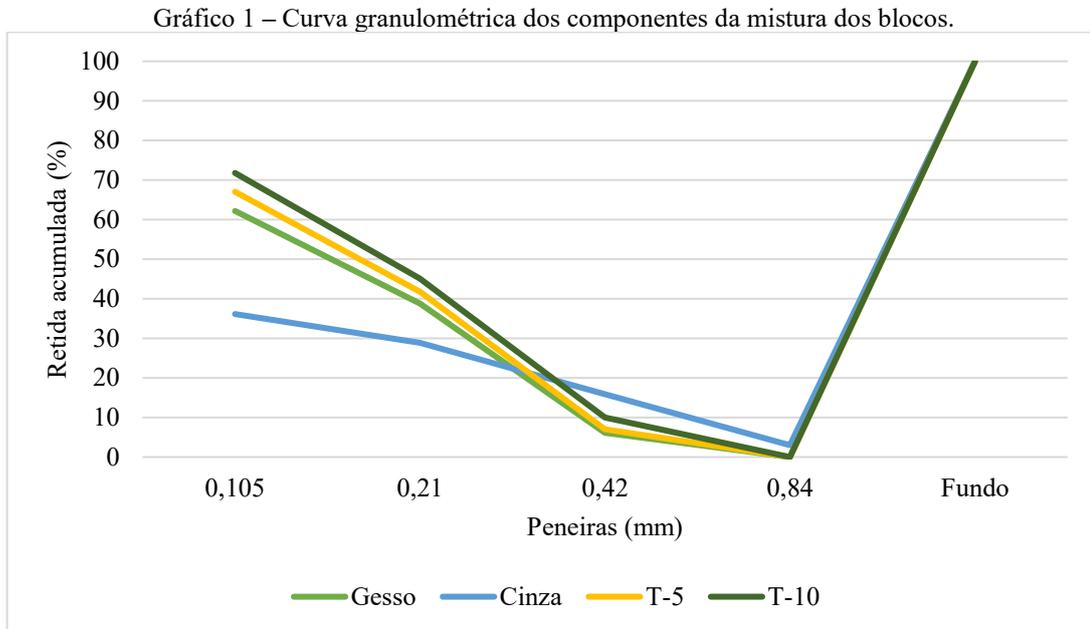
Fonte: Autoria própria.

O gesso puro apresentou 38% de seu material passando por todas as peneiras, demonstrando uma granulometria moderadamente fina, com módulo de finura de 1,07. Esse resultado está em conformidade com as características esperadas para aplicações em pastas e argamassas, garantindo boa coesão e desempenho adequado.

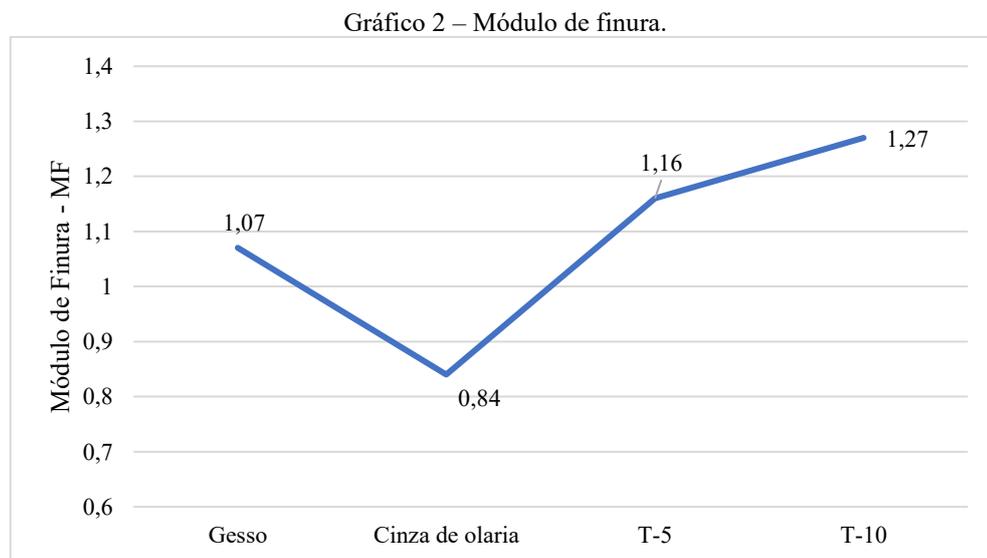
Em contrapartida, a cinza de olaria exibiu um comportamento distinto, com 64% do material passando integralmente pelas peneiras, o que evidencia uma granulometria significativamente mais fina em comparação ao gesso. Seu módulo de finura de 0,84 reforça

essa característica, indicando um material de alta finura, o que pode contribuir para um melhor empacotamento de partículas quando incorporado às misturas.

A adição de cinza de olaria ao gesso promoveu mudanças perceptíveis na distribuição granulométrica, conforme Gráfico 1.



Na mistura com 5% de cinza (T-5), o módulo de finura aumentou para 1,16, sugerindo uma leve aglomeração de partículas, no entanto, comprometer a trabalhabilidade da mistura. Já na composição com 10% de cinza (T-10), o módulo de finura atingiu 1,27, acompanhado de uma maior concentração de partículas finas, particularmente na peneira de 0,105 mm, como ilustrado no Gráfico 2.



Esse comportamento indica um preenchimento mais eficiente dos vazios presentes no gesso, o que tende a melhorar a densidade e, conseqüentemente, a resistência mecânica dos blocos. Esse efeito pode ser compreendido ao se analisar a diferença entre a massa específica e a massa unitária do material: quanto maior essa diferença, maior é o índice de vazios existente entre as partículas. Assim, quando os finos ou adições atuam reduzindo esses espaços, ocorre uma compactação mais efetiva da matriz, elevando a densidade do compósito e resultando em ganhos de resistência. O gesso utilizado foi classificado como gesso de fundição conforme a NBR 13207-3 (ABNT, 2023), apresentando 96,46% de material passante na peneira de 0,29 mm (48,23 g de 50 g), superando o mínimo de 90% exigido pela norma. Essa granulometria fina garante as propriedades reológicas e mecânicas características deste tipo de produto.

5.1.2 Caracterização da massa unitária e massa específica

A massa unitária do gesso puro foi de 0,683 g/cm³, enquanto a cinza de olaria apresentou valor ligeiramente inferior, de 0,651 g/cm³, indicando maior volume de vazios no resíduo conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da caracterização da massa unitária.

Massa Unitária (M_u)	Resultado (g/cm³)
Gesso	0,683
Cinza	0,651
T-5	0,670
T-10	0,675

Fonte: Autoria própria.

Nas misturas modificadas, observou-se aumento progressivo da massa unitária, atingindo 0,670 g/cm³ (T-5) e 0,675 g/cm³ (T-10), demonstrando maior compactação devido à incorporação das cinzas.

O resultado atende aos requisitos da NBR 13207-3 (ABNT, 2023), que estabelece valor mínimo de 0,600 g/cm³ para massa unitária do gesso.

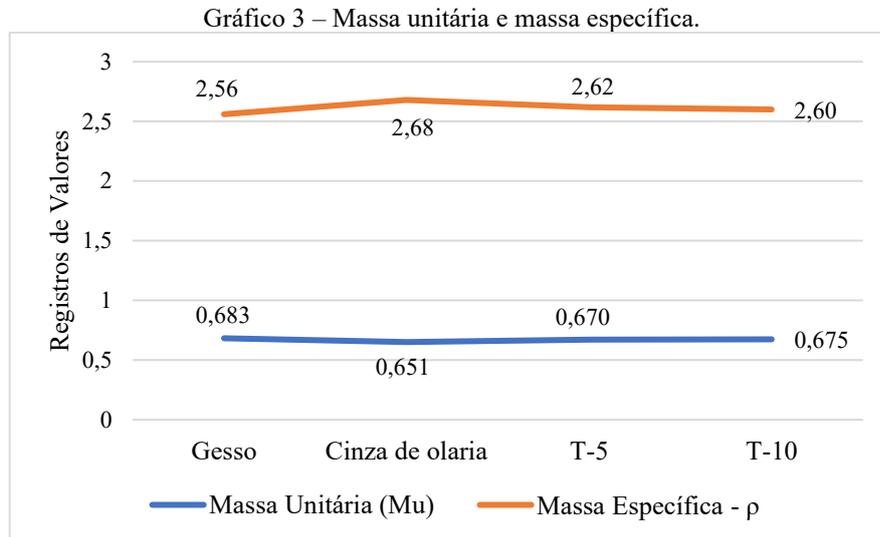
Quanto à massa específica, o gesso apresentou valor de 2,56 g/cm³, inferior ao da cinza que foi de 2,68 g/cm³, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da caracterização da massa específica.

Massa Específica (ρ)	Resultado (g/cm³)
Gesso	2,56
Cinza	2,68
T-5	2,62
T-10	2,60

Fonte: Autoria própria.

As misturas T-5 e T-10 registraram valores intermediários de 2,62 g/cm³ e 2,60 g/cm³ respectivamente, indicando que a adição de cinza promoveu aumento na densidade real do material, vide Gráfico 3.



Fonte: Autoria própria.

Esta diferença entre massa unitária e específica evidencia a presença de vazios, sendo menos acentuada no gesso puro (maior compatibilidade em misturas) e mais significativa nas composições com cinza (maior volume aparente).

A maior densidade das misturas com cinza sugere partículas mais compactas, o que pode contribuir para melhorias nas propriedades mecânicas dos blocos, conforme demonstrado nos ensaios subsequentes.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO GESSO EM PASTA

A análise do estado fresco da pasta permitiu compreender a fluidez, a coesão entre as partículas e a capacidade de moldagem do material, fatores que determinantes para sua aplicação e a qualidade do produto.

5.2.1 Consistência normal

Os ensaios de consistência normal apresentaram relações água/gesso (a/g) características para cada composição, conforme apresentado na Tabela 7.

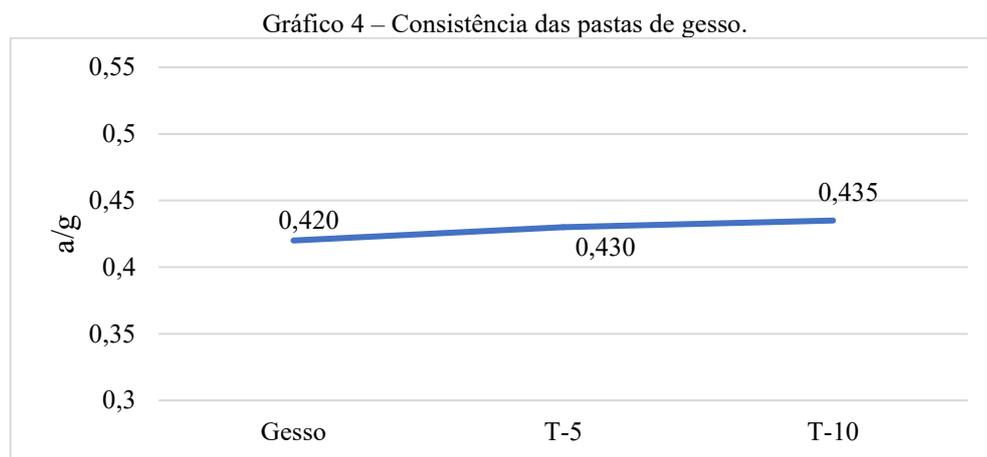
Tabela 7 – Resultados da consistência normal das pastas de gesso.

Traço	Relação a/g da consistência normal
Gesso (T-0)	0,420

T-5	0,430
T-10	0,435

Fonte: Autoria própria.

O gesso puro apresentou relação a/g de 0,420, valor típico para materiais de construção civil, garantindo adequada trabalhabilidade e desempenho. Com a incorporação de cinzas, observou-se um aumento progressivo nesta relação: 0,430 para T-5 e 0,435 para T-10, conforme Gráfico 4.



Fonte: Autoria própria (2025).

Este incremento na demanda de água pode ser atribuído a dois fatores principais: (1) a maior finura das cinzas, que aumenta a área superficial específica necessitando mais água para envolver as partículas; e (2) a natureza porosa do resíduo, que absorve parte da água da mistura. Apesar do aumento, todas as relações permaneceram dentro da faixa convencional para materiais à base de gesso (0,40-0,45), mantendo características adequadas de trabalhabilidade.

Vale destacar que este aumento moderado na relação a/g, embora possa elevar ligeiramente a porosidade final do material, não comprometeu significativamente as propriedades mecânicas dos blocos, como comprovado nos ensaios de resistência à flexão. Pelo contrário, a incorporação das cinzas trouxe benefícios compensatórios em termos de densidade e resistência mecânica, conforme demonstrado nas análises subsequentes. Santos (2020), que observou que a adição de cinza de olaria ao gesso resultou em um aumento na relação a/g, mas também promoveu melhorias nas propriedades mecânicas do material, como resistência à compressão e à flexão, devido à maior coesão interna da matriz de gesso. na página 43 armando a referência

5.2.2 Tempo de pega

O gesso puro apresentou tempo de início de pega de 16 minutos e tempo final de 20

minutos, caracterizando um padrão de endurecimento rápido, típico para aplicações na construção civil, como evidenciado na Tabela 8.

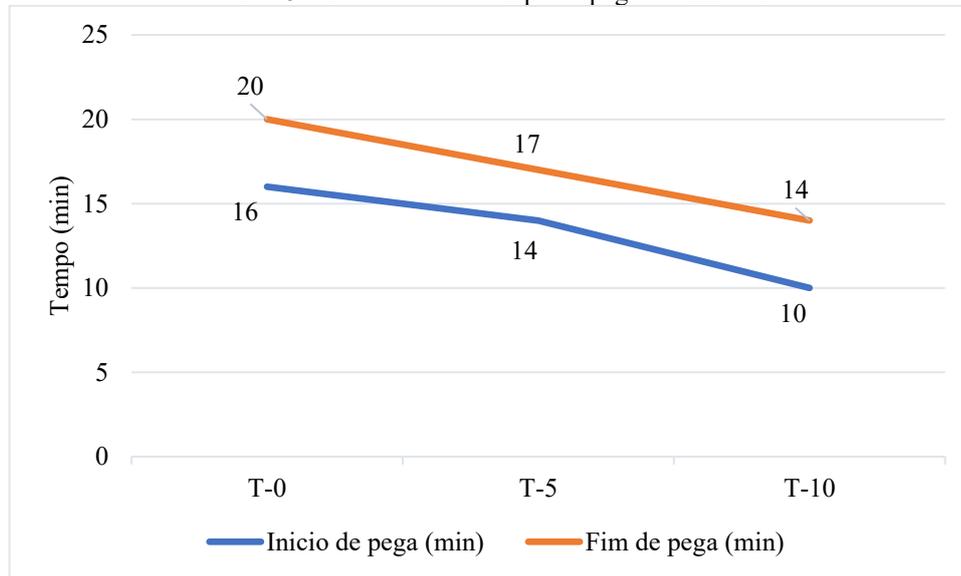
Tabela 8 – Resultados do tempo de pega das misturas.

Tipo de mistura	Início de pega (min)	Fim de pega (min)
Gesso (T-0)	16	20
T-5	14	17
T-10	10	14

Fonte: Autoria própria.

A leitura do Gráfico 5 permite constatar que a adição de cinzas acelerou consideravelmente o processo de pega.

Gráfico 5 – Resultados do tempo de pega das misturas.



Fonte: Autoria própria.

Para a mistura T-5, observou-se redução nos tempos para 14 minutos (início) e 17 minutos (fim). Esse efeito foi ainda mais pronunciado no T-10, com tempos de 10 minutos (início) e 14 minutos (fim). Essa aceleração progressiva pode ser atribuída a dois fatores principais: (1) a maior finura das partículas de cinza, que proporciona maior área superficial para nucleação e crescimento dos cristais de gesso; e (2) possíveis compostos presentes nas cinzas que atuam como catalisadores do processo de hidratação. Nesse sentido, Beserra (2023), também verificou que a adição de cinza de olaria ao gesso promoveu significativa redução no tempo de pega, confirmando que a finura das partículas influencia diretamente a velocidade das reações de hidratação, corroborando, portanto, os resultados observados neste estudo.

A redução no tempo de pega apesar de representar um desafio para operações que demandam maior tempo de aplicação, pode ser vantajoso em situações que requerem ciclos rápidos de desforma e ganho inicial de resistência, como é o caso do gesso de fundição utilizado

nesse trabalho para a produção dos blocos.

Embora os tempos de início de pega tenham excedido os parâmetros de ≤ 10 minutos estabelecidos pela NBR 13207-3 (ABNT, 2023) para gesso de fundição, todos os valores permaneceram dentro dos limites de fim de pega (≤ 20 minutos). Essa variação não comprometeu a aplicabilidade prática das misturas, mantendo-se adequadas para uso convencional na construção civil.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO GESSO NO ESTADO ENDURECIDO

A avaliação do gesso endurecido com cinzas de olaria buscou compreender os efeitos do resíduo em suas propriedades mecânicas através de ensaios normalizados. Os resultados permitiram analisar o comportamento estrutural do material para aplicações práticas na construção civil.

5.3.1 Dureza

A amostra controle (T-0), composta exclusivamente por gesso, apresentou dureza média de 82,4 u.s.c., valor que se mostrou dentro dos parâmetros esperados para materiais convencionais deste tipo, vide Tabela 9.

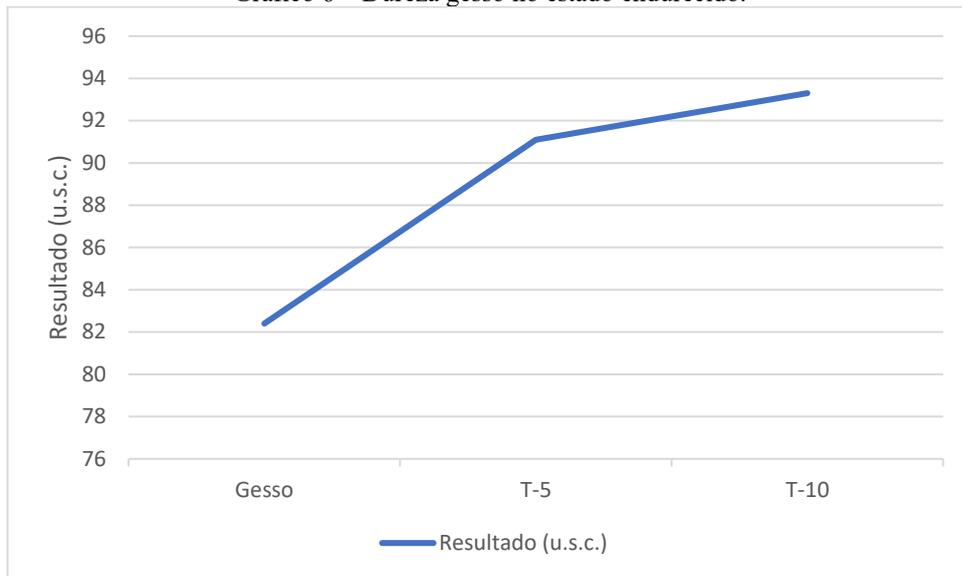
Tabela 9 – Resultados da dureza do gesso no estado endurecido.

Traço	Resultado (u.s.c.)
T-0	82,4
T-5	91,1
T-10	93,3

Fonte: Autoria própria.

Complementando essa análise, o Gráfico 6 demonstra que a introdução de 5% de cinza de olaria (amostra T-5), registrou-se um aumento expressivo na dureza média, que atingiu 91,1 u.s.c., representando um incremento de aproximadamente 10,6% em relação ao bloco de referência. Já o T-10 (10% de cinzas) atingiu 93,3 u.s.c. (incremento de 13,4% sobre T-0 e 2,5% sobre T-5).

Gráfico 6 – Dureza gesso no estado endurecido.



Fonte: Autoria própria.

Este ganho de desempenho sugere que as partículas de cinza atuaram como elementos de reforço na matriz de gesso, promovendo o refinamento dos vazios e consequentemente maior coesão interna (maior densidade) reduzindo a deformabilidade do material sob carregamento superficial.

Segundo Santos (2024), a incorporação das cinzas finas na matriz ajuda a aumentar a dureza do material, já que essas partículas funcionam como pequenos reforços que preenchem os espaços vazios. Isso fortalece a estrutura interna e torna o material mais resistente à deformação superficial. Dessa forma, a presença da cinza contribui para deixar a matriz mais densa, resultando em maior coesão interna e melhor desempenho mecânico.

5.3.2 Resistência à compressão

Verifica-se na Tabela 10 que a amostra de referência (T-0) apresentou resistência média de 7,7 MPa, valor condizente com gessos de boa qualidade para aplicação na construção civil.

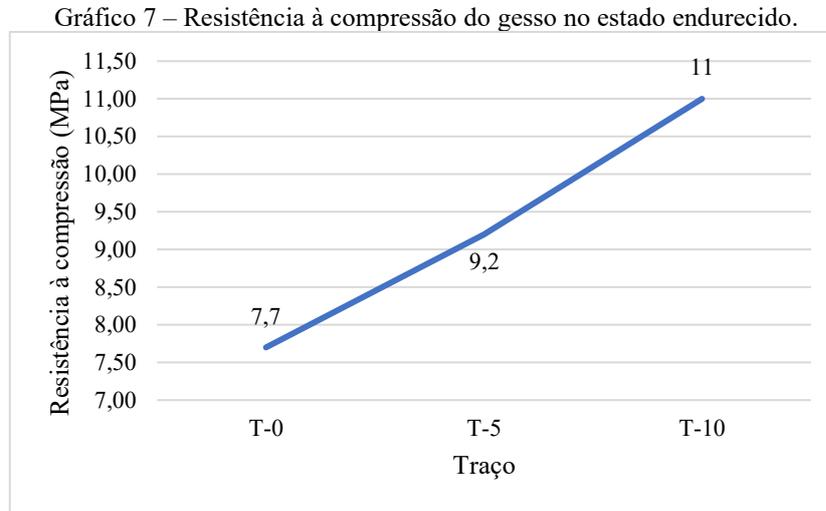
Tabela 10 – Resultados da resistência à compressão do gesso no estado endurecido.

Traço	Resultado (MPa)
T-0	7,7
T-5	9,2
T-10	11

Fonte: Autoria própria.

Conforme demonstram os dados do Gráfico 7, a incorporação de 5% de cinzas (T-5) promoveu um aumento significativo para 9,2 MPa, representando um incremento de 19,5% na

resistência. Este crescimento se mostrou ainda mais expressivo no traço T-10, que atingiu 11 MPa, correspondendo a uma melhoria de 42,9% em relação ao T-0 e de 19,6% sobre o T-5.



Fonte: Autoria própria.

A análise sugere que este comportamento está diretamente relacionado ao efeito da ação das partículas finas de cinza que, ao preencherem os vazios da matriz de gesso, promoveram a redução da porosidade deixando o conjunto com uma estrutura mais compacta e homogênea.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE GESSO

As propriedades físicas e mecânicas dos blocos são determinantes para garantir qualidade, durabilidade e adequação a diferentes aplicações. Neste estudo, foram avaliadas características essenciais, como absorção de água, densidade, resistência à flexão e dureza.

5.4.1 Densidade

Os ensaios de densidade revelaram uma melhoria progressiva nas propriedades físicas dos blocos com a incorporação de cinzas de olaria, como comprovam os registros da Tabela 11.

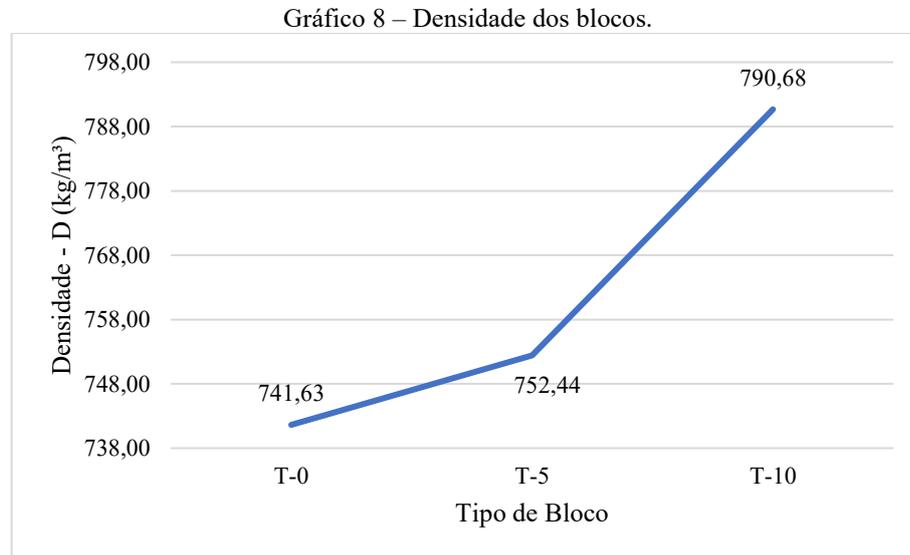
Tabela 11 – Resultados da densidade dos blocos.

Bloco	Resultado (kg/m ³)
T-0	742
T-5	752
T-10	791

Fonte: Autoria própria.

A apresentação do Gráfico 8 ilustra que o bloco de referência (T-0) apresentou densidade de 742 kg/m³, valor característico de blocos de gesso convencionais. Com a adição de 5% de cinzas (T-5), observou-se um aumento para 752 kg/m³, correspondente a uma

elevação de 1,44% em relação ao controle. Este incremento se mostrou ainda mais significativo na amostra com 10% de cinzas (T-10), que atingiu 791 kg/m^3 , representando um ganho de 6,20% sobre o bloco padrão.



Fonte: Autoria própria (2025).

A análise comparativa demonstra que o T-10 apresentou o melhor desempenho, com um aumento de densidade aproximadamente 4 vezes superior ao verificado no T-5. Este comportamento pode ser atribuído a dois fatores principais: primeiro, à maior massa específica intrínseca das cinzas ($2,68 \text{ g/cm}^3$) em comparação com o gesso puro ($2,56 \text{ g/cm}^3$); segundo, ao efeito filler proporcionado pelas partículas finas do resíduo, que preencheram eficientemente os vazios da matriz de gesso, reduzindo a porosidade geral do material.

Do ponto de vista normativo, todos os blocos atenderam plenamente aos requisitos da NBR 16494 (ABNT, 2017) para materiais de baixa densidade, que estabelece valores entre ≥ 600 e $< 800 \text{ kg/m}^3$. A maior densidade alcançada pelo T-10 está em perfeita consonância com os demais resultados obtidos, explicando em parte seu melhor desempenho nos ensaios de absorção de água e resistência mecânica.

5.4.2 Absorção de água

Os ensaios de absorção de água revelaram que a incorporação de cinzas de olaria influenciou significativamente o comportamento higroscópico dos blocos de gesso. Essa relação fica evidente na análise da Tabela 12.

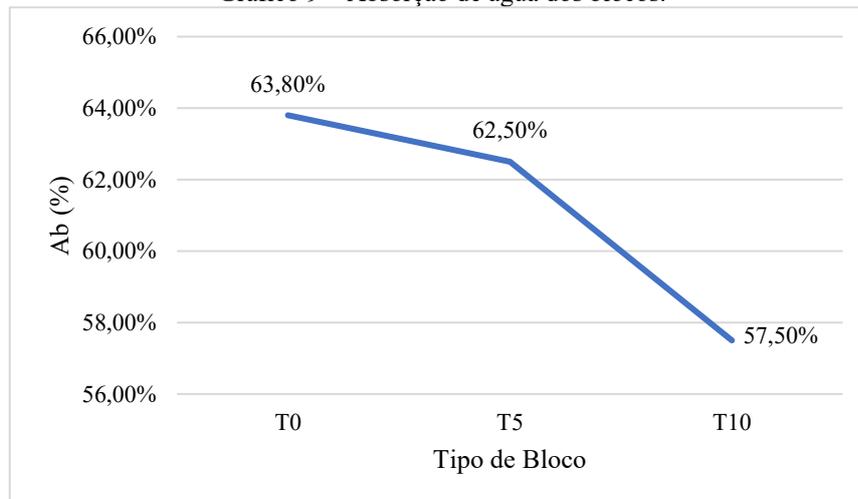
Tabela 12 – Resultados da absorção de água nos blocos.

Tipo de Bloco	Resultado (%)
T-0	63,8
T-5	62,5
T-10	57,5

Fonte: Autoria própria.

O bloco de referência (T-0) apresentou absorção de 63,8%, enquanto as amostras modificadas com cinzas exibiram reduções progressivas: 62,5% para T-5 e 57,5% para T-10, como evidenciado no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Absorção de água dos blocos.



Fonte: Autoria própria.

O traço T-10 apresentou o melhor desempenho, com redução de absorção quase 5 vezes maior que o T-5 (9,98% contra 2,13%), essa diminuição na absorção pode ser atribuída ao efeito de preenchimento dos vazios pelas partículas mais finas das cinzas (efeito filler), que promoveram uma estrutura interna mais compacta, densa.

Resultados similares foram encontrados por Souza (2023), que identificou que a adição de resíduos finos reduz significativamente a absorção de água em materiais cimentícios, devido à diminuição da porosidade e maior densificação da matriz. Assim, os dados confirmam que a presença das partículas finas contribui para um material com melhor desempenho em relação à resistência à penetração de água.

Contudo, todos os valores permaneceram acima do limite de 5% estabelecido pela NBR 16494 (ABNT, 2017) para blocos hidrofugados, enquadrando-os na categoria "blocos simples" (adequados apenas para ambientes internos secos).

A alta absorção do gesso puro reforça sua restrição a áreas não expostas à umidade, enquanto as misturas com cinzas sugerem maior resistência à degradação por umidade.

5.4.3 Resistência à flexão

Os ensaios de resistência à flexão, de acordo com os valores consignados na Tabela 13, demonstraram uma melhoria significativa nas propriedades mecânicas dos blocos com a incorporação de cinzas de olaria.

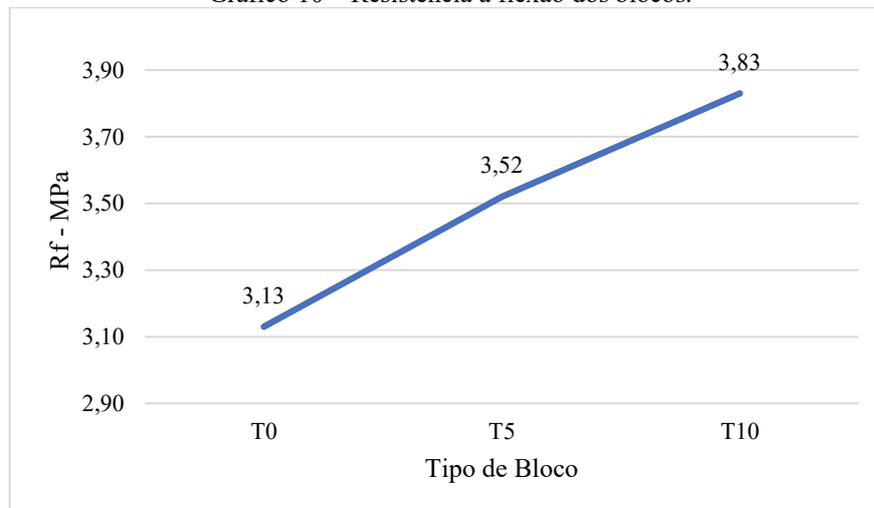
Tabela 13 – Resultados da resistência à flexão dos blocos.

Resistência à Flexão (R_f)	
Bloco	Resultado (MPa)
T-0	3,13
T-5	3,52
T-10	3,83

Fonte: Autoria própria.

O bloco de referência (T-0) apresentou resistência de 3,13 MPa, enquanto as amostras modificadas exibiram aumentos progressivos: 3,52 MPa para T-5 (5% de cinza) e 3,83 MPa para T-10 (10% de cinza), representando incrementos de 11,08% e 18,28%, respectivamente, em relação ao bloco convencional, como registrado no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Resistência à flexão dos blocos.



Fonte: Autoria própria.

A análise dos resultados revela que o bloco T-10 apresentou o melhor desempenho mecânico, com um aumento de resistência aproximadamente 1,6 vezes superior ao verificado no T-5. Este comportamento pode ser atribuído a três fatores principais: (1) o efeito de preenchimento dos vazios pelas partículas finas de cinza ($MF = 0,84$), que promoveu uma estrutura mais compacta; (2) a maior densidade alcançada pelo T-10 ($790,68 \text{ kg/m}^3$); e (3) a redução correspondente na absorção de água (57,45%), que indica menor porosidade.

Do ponto de vista normativo, todos os blocos atenderam amplamente aos requisitos da NBR 16494 (ABNT, 2017), que estabelece resistência mínima de 1,2 MPa para blocos de

vedação vertical de espessura de 70 mm, classe específica utilizada nesse trabalho. O melhor desempenho do T-10, que superou em 219% o valor mínimo exigido pela norma, corrobora os resultados positivos obtidos nos ensaios de densidade e absorção de água, confirmando a eficácia da adição de cinzas como estratégia para melhorar as propriedades mecânicas do gesso.

5.4.4 Dureza

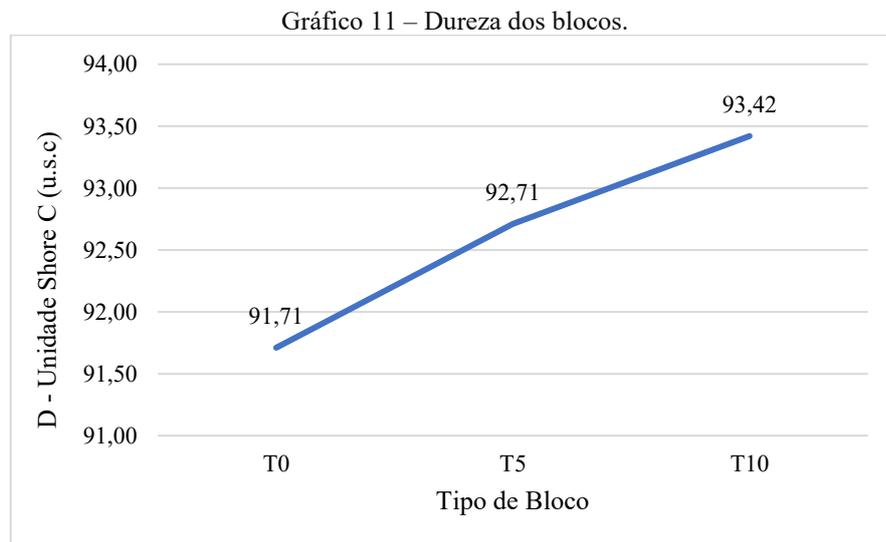
Os ensaios de dureza superficial, realizados conforme o método Shore C, demonstraram que a incorporação de cinzas de olaria promoveu melhorias graduais nas propriedades mecânicas dos blocos de gesso, vide Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados da dureza dos blocos.

Bloco	Resultado Unidade Shore C (u.s.c.)
T-0	91,71
T-5	92,71
T-10	93,42

Fonte: Autoria própria.

A análise do Gráfico 11 permite observa que o bloco de referência (T-0) apresentou valor de 91,71 u.s.c., já caracterizando um material de alta dureza segundo a classificação da NBR 16494 (ABNT, 2017), que estabelece o mínimo de 80 u.s.c. para blocos de vedação vertical.



Fonte: Autoria própria.

Com a adição de 5% de cinzas (T-5), observou-se um aumento para 92,71 u.s.c., correspondente a uma elevação de 1,0% em relação ao controle. Este incremento se mostrou ainda mais significativo na amostra com 10% de cinzas (T-10), que atingiu 93,42 u.s.c., representando um ganho de 1,83% sobre o bloco padrão. A análise comparativa revela que o

T-10 apresentou um aumento de dureza aproximadamente 83% superior ao verificado no T-5, consolidando-se como a formulação com melhor desempenho mecânico.

Este comportamento pode ser explicado pelo efeito sinérgico de três fatores principais: primeiro, pela ação das partículas finas de cinza ($MF = 0,84$) que, ao preencherem os vazios da matriz de gesso, promoveram uma estrutura mais compacta e homogênea; segundo, pela redução da porosidade, evidenciada nos ensaios de absorção de água (57,45% para T-10); e terceiro, pelo aumento da densidade ($790,68 \text{ kg/m}^3$ para T-10), que contribuiu para uma maior resistência superficial.

Do ponto de vista normativo, todos os blocos se enquadraram na categoria de alta dureza, superando amplamente o requisito mínimo estabelecido pela norma. O excelente desempenho do T-10 corrobora os resultados positivos obtidos nos ensaios de resistência à flexão (3,83 MPa) e densidade, confirmando a eficácia da adição de cinzas como estratégia para melhorar as propriedades mecânicas do gesso.

5.5 VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL

Os resultados obtidos no estudo demonstram uma contribuição positiva nos três eixos fundamentais de avaliação: técnico, econômico e sustentável. Do ponto de vista técnico, a incorporação de cinzas de olaria mostrou-se plenamente viável, com melhorias progressivas nas propriedades dos blocos à medida que se aumentou o teor de cinzas. O bloco T-10, com 10% de substituição, destacou-se particularmente, apresentando um aumento de 18,28% na resistência à flexão (3,83 MPa contra 3,13 MPa do bloco convencional), redução de 9,98% na absorção de água (57,45% contra 63,82%) e incremento de 1,83% na dureza superficial (93,42 u.s.c. contra 91,71 u.s.c.). Todos os parâmetros atenderam os requisitos da NBR 16494 (ABNT, 2017), comprovando a eficácia da técnica desenvolvida.

Economicamente, a proposta apresenta diversas vantagens. A substituição de parte do gesso por cinzas de olaria, um resíduo industrial de baixo ou nenhum custo, pode representar reduções importantes nos custos de matéria-prima, especialmente considerando que o gesso tem valor de mercado superior ao das cinzas. Além disso, a técnica permite transformar um passivo ambiental (as cinzas, que teriam custo de disposição final) em um produto com valor agregado. O potencial de comercialização como "ecobloco" pode ainda abrir oportunidades em nichos de mercado que valorizam soluções sustentáveis, permitindo margens competitivas. No entanto, é importante destacar que mais estudos são necessários para avaliar de forma precisa os custos envolvidos no processamento e logística das cinzas.

Em termos de sustentabilidade, os ganhos são amplos e interligados. Ambientalmente, o uso das cinzas contribui para a preservação da gipsita, um recurso natural não renovável, ao mesmo tempo em que oferece um destino adequado para resíduos industriais que, de outra forma, poderiam causar impactos negativos ao meio ambiente. Socialmente, a proposta promove a economia circular, ao incentivar a integração entre os polos cerâmicos e gesso, com potencial para gerar empregos e desenvolver tecnologias mais limpas. Economicamente, agrega valor a subprodutos que atualmente representam custos para as olarias, ao mesmo tempo em que reduz os custos ambientais associados ao descarte inadequado.

A incorporação de cinzas de olaria como substituto parcial do gesso apresenta relevantes indicadores de sustentabilidade, destacando-se na redução do impacto ambiental da construção civil. Ao substituir parte do gesso por resíduos que, de outra forma, seriam descartados, contribuímos para reduzir a extração de gipsita, preservando recursos naturais e evitando a degradação causada pela mineração. Além disso, o reaproveitamento das cinzas evita o descarte inadequado em aterros ou cursos d'água, mitigando a contaminação do solo e da água e promovendo o ciclo fechado de resíduos dentro do setor produtivo. A redução na produção de gesso virgem também implica menor consumo energético e emissão de CO₂, reforçando o caráter sustentável da prática. Do ponto de vista social e econômico, a utilização de cinzas de olaria como adição ao gesso contribui para indicadores de economia circular, incentivando a valorização de resíduos e a criação de novas oportunidades de mercado. Além disso, a técnica favorece a inovação tecnológica no setor da construção, estimulando parcerias com olarias e indústrias de gesso e fortalecendo políticas de responsabilidade ambiental corporativa. Combinando aspectos ambientais, econômicos e sociais, a substituição parcial do gesso por cinzas de olaria constitui um indicador claro de práticas construtivas mais sustentáveis e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a incorporação de cinzas de olaria aos blocos de gesso configura-se como uma estratégia tecnicamente viável para o aproveitamento de resíduos sólidos, contribuindo para práticas construtivas mais sustentáveis. O bloco com 10% de cinzas (T-10) destacou-se como o melhor desempenho global, apresentando aumento de 18,28% na resistência à flexão (3,83 MPa), redução de 9,98% na absorção de água (57,5%) e incremento de 6,20% na densidade (791 kg/m³), superando significativamente os requisitos das normas vigentes.

A análise integrada demonstrou que esses avanços se devem principalmente ao efeito filler das partículas finas de cinza, que preencheram os vazios da matriz de gesso, reduzindo a porosidade e melhorando a compactação. Além disso, o resíduo potencializou a coesão interna do material, explicando os ganhos em resistência mecânica e dureza superficial.

Do ponto de vista ambiental, esta pesquisa oferece uma solução concreta para dois desafios: a redução do descarte inadequado de cinzas de olaria e a diminuição da extração de gipsita, alinhando-se aos princípios da economia circular. Economicamente, a técnica pode reduzir custos de produção ao substituir parcialmente o gesso por um resíduo de baixo valor agregado.

Como perspectivas futuras, sugere-se: análise de dosagens superiores a 10% de cinzas para avaliar se há um limite ótimo de substituição que mantenha ou melhore as propriedades dos blocos sem comprometer a trabalhabilidade; ensaios de durabilidade acelerada para avaliar o comportamento dos blocos em condições reais de umidade e temperatura; estudos de viabilidade econômica em escala industrial, incluindo parcerias com olarias e fábricas de gesso; análise do ciclo de vida (ACV) para quantificar os benefícios ambientais da proposta; e

Por fim, este trabalho reforça o potencial da construção civil como agente de transformação sustentável, mostrando que é possível conciliar desempenho técnico, responsabilidade ambiental e inovação por meio da valorização de resíduos. Os resultados abrem caminho para novas pesquisas que explorem aplicações diversificadas das cinzas de olaria em materiais à base de gesso.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ítalo D.'Artagnan. **Metodologia do trabalho científico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, p. 51. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/49435>. Acesso em: 2 dez. 2023.

ANGELOTTI, Francislene; OLIVEIRA, Anderson Ramos de; GIONGO, Vanderlise; BARROS, Juliane Rafaela Alves; GUIMARÃES, Miguel Júlio Machado. Agricultura sustentável como medida de adaptação para o Polo Gesseiro do Araripe. *In*: SABOURIN, Eric Pierre; OLIVEIRA, Lucia Marizy Ribeiro; GOULET, Frédéric; MARTINS, Eduardo Sávio (orgs.). **A ação pública de adaptação da agricultura à mudança climática no Nordeste Semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro: E-papers, 2021. cap. 4, p. 65–80. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1135026>. Acesso em: 6 ago. 2025.

ARAÚJO, Luana Freire; FARIAS, Bruno Matos de. Empregabilidade do gesso na construção civil. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 1, p. 89-108, 2021. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/118>. Acesso em: 18 nov. 2024

ARAUJO, William Fenelon Bandeira. **Adição de cinzas provenientes de forno cerâmico para aplicação na formulação de massa cerâmica para revestimento**. 2023. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023. Disponível em: <http://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/7164>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ARRUDA, Jandeilson Alves de; AZEVEDO, Thiago Anderson Oliveira de; FREIRE, José Lucínio de Oliveira; BANDEIRA, Lucas Bochardt; ESTRELA, José Wellington de Medeiros; SANTOS, Sebastiana Joelma de Azevedo. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 1, n. 30, p. 18–30, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/455>. Acesso em: 6 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12127**: gesso para construção civil - determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro: ABNT, jul. 2019a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12128**: gesso para construção civil - determinação das propriedades físicas da pasta de gesso. Rio de Janeiro: ABNT, jul. 2019b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 13207-3**: gesso para construção civil - parte 3 - determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro: ABNT, jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16372**: cimento portland e outros materiais em pó - determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro: ABNT, maio. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16494**: bloco de gesso para vedação vertical - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16495**: bloco de gesso para vedação vertical - método de ensaio: Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, jun. 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16972**: agregados - determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, jun. 2021.

ASSUNÇÃO, Marcella de Sá Leitão; MACÊDO, Giulia Cristine Costa de; SILVA, Ana Clara Costa e; QUIRINO, Rillary Gudmila Barbosa. Estudo da adição de cinza de olaria em blocos modulares de solo cimento. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 10., 2019, Fortaleza/CE. **Anais eletrônicos** [...] Fortaleza: IBEAS, 2019. p. 01 - 06. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/III-130.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024.

BARBOSA, Amanda Alves; FERRAZ, Andrea Valéria; SANTOS, Giliane Alves. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pó do Araripe. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 354, p. 501–508, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/sBfG5vkZscNKqDcQmJLpWTv/?lang=pt>. Acesso em: 6 ago. 2025.

BERNHOEFT, Luiz Fernando; GUSMÃO, Alexandre Duarte; TAVARES, Yêda Vieira Póvoas. Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 7–20, jan./mar. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/z5MsPckpcZgQMzTQsKnTzNg/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BESERRA, Lucas Gonçalves. **Avaliação da durabilidade e das propriedades mecânicas de argamassa com baixa porosidade incorporada com cinza de olaria**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/31116/1/TCC%20Lucas%20Gon%c3%a7alves%20Beserra.pdf>. Acesso em: 25 set. 2023.

CORDEIRO, Daniela Sampaio Pontes; PAIVA, Renata da Costa e Silva de Matos. **Alvenaria de blocos de gesso: execução e vantagens**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46274>. Acesso em: 27 set. 2023.

COSTA, Natallyane Trindade da; SILVA, Ronald Fonseca da; SILVA, Raiane Nunes da; Jozilene de Souza; AVELINO, Veruska Kelly Gomes Rocha. Efeitos da adição da cinza de olaria (CZO) nas propriedades do concreto não estrutural. *In*: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 3. **Anais** [...]. 2020, Gramado-RS. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/I-013.pdf>.

DAVI, Ana Paula Caldas. **Obtenção de pigmentos à base de cinzas de algaroba e cajueiro, impregnados com íons cobalto e cobre, para aplicação em esmaltes cerâmicos**. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6814>. Acesso em: 05 mai. 2024.

FERREIRA, Fernanda Cavalcanti; SOUSA, José Getúlio Gomes de; CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira. **Caracterização mecânica do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. –, out.–dez. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/YNtm5WcPD4ph74kW6hwSRnz/>. Acesso em: 07 ago. 2025.

FREITAS, Cleirton Moraes. **Panorama da gestão dos resíduos de gesso na construção civil: um estudo de caso no município de Tabuleiro do Norte - CE**. 2021. Trabalho de Dissertação de Curso (Bacharelado em Engenharia civil) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró-RN, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/cac4d93a-6f45-4a67-a1fc-914a1e0e1ee5/content>. Acesso em: 12 nov. 2024.

GAUDENCIO, Hiara Ruth da Silva Câmara. **Uso de cinza de olaria e composto orgânico de macrófita aquática na recuperação de solos degradados**. 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/tede/541>. Acesso em: 09 abr. 2024.

GAUDENCIO, Hiara Ruth da Silva Camara; MORAIS, Elis Regina Costa de; MAIA, Celsemy Eleutério; COSTA, Maria Valdete da; NOGUEIRA, Henrique Campos. **Uso de cinza de olaria e composto orgânico de macrófita aquática na recuperação de solos degradados: avaliação de metais pesados**. *Ambiência*, v. 14, n. 2, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/230461537.pdf>. Acesso em 07 mai. 2024.

HAUBRICK, Suelen Oliveira; GONÇALVES, José Roberto Moreira Ribeiro. **Medidas de redução de geração de resíduos sólidos na construção civil como atendimento dos requisitos de sustentabilidade do PBQP-H/SIAC**. *Revista Augustus*, v. 25, n. 50, p. 12-32, 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.15202/1981896.2020v25n50p12>. Acesso em: 27 set. 2023

LOPES, Livia de Faria. **Materiais de construção civil I**. [S. l.]: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 197 p. v. 1. ISBN 978-85-522-0191-5.

MEIRELES, Jefferson Rodrigues; RASSI, Kamilla Correa Adorno. **Revisão da literatura sobre reciclagem de resíduos sólidos da construção civil em parâmetro mundial**.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022. Disponível em:

<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/4472>. Acesso em: 26 set. 2023.

MENEZES, Afonso Henrique Novaes; DUARTE, Francisco Ricardo; CARVALHO, Luis Osete Ribeiro; SOUZA, Tito Eugênio Santos. **Metodologia científica: teoria e aplicação na**

educação a distância. Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE, p. 1-84, 2019.

OLIVEIRA, Franciney Nascimento. **As vantagens e desvantagens do gesso acartonado na construção civil**. 2019. Artigo (Bacharel em Engenharia civil) - Centro Universitário do Norte, [S. 1.], 2019.

PINHEIRO, Bruno Carlos Alves; SOUZA, Sandro Ferreira de; MENDES, Rodrigo Bicalho; ALVES, Taís Coutinho de Souza; SEVERO, Clara Batista. Reaproveitamento de resíduos industriais: transformando problema em educação ambiental e inovação. **Revista Mediação**, n. 12, 2021. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/mediacao/article/view/6162>. Acesso em: 30 set. 2023.

RIBEIRO, Abrahão severo. Tese de doutorado. *In*: RIBERIO, Abrahão severo. **Estudo e otimização do processo de produção do gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil**. 2011. Artigo (Bacharelado em Engenharia civil) - Universidade federal do Pernambuco, 2011.

ROCHA, Gilson Leno Santos; ALHO, Guilherme A. Danvanso; BARROS, Gustavo de Oliveira; SANTOS, Nathalie Figueiredo; DALLACQUA, Victor Bobillo; DUARTE, Tâmara Francine. **Gerenciamento de resíduos da construção civil por meio de usina de reciclagem**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, Morumbi, 2023. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/36165>. Acesso em: 27 set. 2023.

RODRIGUES, Joaquim Augusto Pinto; HENRIQUES Júnior, Mauricio Francisco; CÍCERO, Paula Rocha; PACHECO, Luiz Felipe Lacerda; SILVA, Talita Pereira Faro da; DRESCH, Patrícia. **Panorama atual do Arranjo Produtivo Local (APL) gesseiro da região do Araripe PE: linha de base 2023**. Instituto Nacional de Tecnologia – INT; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, Rio de Janeiro, out. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/int/pt-br/central-de-conteudos/apl-gesso/linha-de-base-gesso.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2025.

SANTOS, Léo Cristiano da Costa. **Desenvolvimento de cerâmica vermelha com incorporação de cinzas de carvão de olarias e filito**. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/268>. Acesso em: 07 maio 2024.

SANTOS, José Armando de Caldas dos. **Avaliação do desempenho de Placas de gesso com incorporação de Resíduos de cinzas de olarias**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/3917/1/TCC%20Jos%C3%A9%20Armando%20de%20Caldas%20dos%20Santos.pdf> Acesso em: 12 ago. 2025.

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL-SGM. **Anuário estatístico 2021: setor de transformação de não metálicos**. Brasília: SGM, 2021, 153p.

SILVA, Lucas Henrique Pereira; TAMASHIRO, Jacqueline Roberta; ANTUNES, Patrícia Alexandra; PEREIRA, Danillo Roberto. Caracterização da cinza de forno de olaria para aplicação em cimento pozolânico. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n.1, e-12567, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0892>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SILVA, Lucas Henrique Pereira. **Cinza de forno de olaria e cinza da palha de bambu: caracterização para uso como adição mineral ativa com cimento Portland**. 2019. 61 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://bdtd.unoeste.br:8080/jspui/handle/jspui/1159>. Acesso em: 11 abr. 2024.

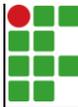
SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO-SINDUSGESSO. **Dados do setor**. 2024. Disponível em: <https://sindusgesso.org.br/dados-do-setor/>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SOBRINHO, Carlos Welligton de Azevedo Pires. Tese de doutorado. *In*: SOBRINHO, Carlos Welligton de Azevedo Pires. **Durabilidade das alvenarias de blocos de gesso: limites de sua utilização**. 2021. Tese (Bacharelado em Engenharia civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2021.

SOUSA, Igor Filipe Martins de. **Método construtivo em gesso: sistema de vedação em blocos para casas populares**. 2022. Trabalho de Dissertação de Curso (Bacharelado em Engenharia civil) - Universidade Federal do Semiárido, Ribeirão Preto, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/57327>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SOUZA, Maxwell Onajart Abdiel Júnior de. **Avaliação do desempenho de blocos de gesso ecológicos dosados com resíduos de calcário laminado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/1455/1/TCC%20-%20Maxwell%20Onajart%20Abidiel%20Junior%20de%20Souza.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY-USGS. **Mineral commodity summaries 2018**. Reston: U.S. Geological Survey, 2018. 200 p.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Entrega de TCC

Assunto:	Entrega de TCC
Assinado por:	Marcelo Silva
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcelo Henrique da Silva, ALUNO (201922200025) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS**, em 29/08/2025 13:28:20.

Este documento foi armazenado no SUAP em 29/08/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1590710

Código de Autenticação: 23818a6ba2

