

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

JOSÉ ARMANDO DE CALDAS DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PLACAS DE GESSO COM  
INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CINZAS DE OLARIAS**

Cajazeiras-PB  
2024

JOSÉ ARMANDO DE CALDAS DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PLACAS DE GESSO COM  
INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CINZAS DE OLARIAS**

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

Orientador: Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva.

Cajazeiras-PB  
2024

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

S237a Santos, José Armando de Caldas dos.  
Avaliação do desempenho de placas de gesso com incorporação de resíduos de cinzas de olarias / José Armando de Caldas dos Santos. – 2024.  
  
58f. : il.  
  
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2024.  
  
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.

JOSÉ ARMANDO DE CALDAS DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PLACAS DE GESSO COM  
INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CINZAS DE OLARIAS**

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.

Aprovado em 16 de setembro de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **CICERO JOELSON VIEIRA SILVA**  
Data: 20/09/2024 15:11:07-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

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

Documento assinado digitalmente  
 **ROBSON ARRUDA DOS SANTOS**  
Data: 20/09/2024 09:26:28-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

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

Documento assinado digitalmente  
 **DANIEL TORRES FILHO**  
Data: 20/09/2024 10:06:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Esp. Daniel Torres Filho – IFPB/*Campus* Cajazeiras  
Examinador

Dedico este trabalho inteiramente aos meus pais Francisco Valdir e Maria Socorro, cuja alma teve perseverança que seu filho alcançasse algo que eles sempre sonharam e hoje está sendo realizado. Que nunca mediram um passo para que eu desse os meus primeiros, e que por maiores fossem as pedras no caminho, romperam com toda dignidade, amor e carinho. Por vocês e sempre para vocês.

## AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento tem como começo, meio e fim os meus pais. Por eles eu cumpro meus objetivos, minhas metas e tenho como foco principal que eles sintam orgulho de onde cheguei e aonde posso chegar graças ao seu total apoio.

Nesse tempo de graduação tive meus amigos, minha namorada e meus familiares como pilares de sustentação para que eu não desistisse e tornasse isso uma angústia não só para mim, mas também para eles. São essas energias que eles depositaram em mim que me fizeram chegar aonde cheguei, que por mais que fossem as dificuldades a imagem de todos vinham à cabeça e me dava forças sempre para ir em frente.

Lembro-me do meu irmão de criação que faleceu esse ano, mesmo que não tivesse estudado e optado por uma vida que não fosse acadêmica nunca me desanimou, jamais falou para que eu mudasse o foco e me incentivava sempre para conseguir terminar com determinação e perseverança, essa graduação é por você também, Renê.

Aos meus amigos e minha namorada, um obrigado não seria nem o começo do que eu deveria dizer, jamais esquecerei das palavras, dos conselhos e acima de tudo o companheirismo, sem vocês eu não teria conseguido.

Agradeço imensamente ao meu professor orientador Cicero Joelson Vieira Silva pela atenção em todo esse processo já vindo de outros trabalhos e parcerias, você é um excelente profissional e todo reconhecimento para o senhor é inteiramente mérito seu.

Agradeço também a Instituto Federal da Paraíba (IFPB), *Campus Cajazeiras* pela oportunidade de realização de trabalhos na área de pesquisa. Foram ótimos momentos e me vejo hoje realizado por ter conseguido chegar ao fim desses anos com louvor e orgulho de todos os momentos. Chegar a ser o único formado da família têm um peso bem considerável, eu via os olhos de todos me olhando de uma forma mais especial, como uma esperança de que os dias seriam mais tranquilos e que os devaneios da vida fossem amenizados graças a minha formação acadêmica.

Todos que me conhecem sabem da fama de teimosia e insistência que possuo, e isso reflete em todo esse caminho, muita persistência e teimosia para que não ficasse pelo caminho, noites em claro, dias nublados na minha mente mesmo que não fosse inverno. Ir atrás dos meus sonhos sempre foi a prioridade, minha família bem sempre foi a prioridade, meus amigos bem também é uma prioridade, a estabilidade em tudo sempre foi e sempre será minha prioridade. A todos um obrigado e aos meus sonhos um até breve.

## RESUMO

Diante da crescente demanda por práticas construtivas que promovam a sustentabilidade e a eficiência na construção civil, a reutilização de resíduos industriais tem se tornado uma estratégia importante para minimizar impactos ambientais. Este trabalho teve como finalidade investigar o impacto da adição de cinza de olaria nas propriedades mecânicas de placas de gesso, com o objetivo de desenvolver materiais mais sustentáveis para a construção civil. A pesquisa foi conduzida utilizando uma metodologia quantitativa, classificada como experimental e explicativa. As amostras de gesso foram preparadas com a adição de cinza de olaria nas proporções estabelecidas de 5% e 10%, e foram submetidas a ensaios para avaliar suas propriedades mecânicas. A metodologia incluiu ainda a caracterização dos materiais utilizados, conforme normas técnicas aplicáveis. Esses procedimentos permitiram uma análise detalhada dos efeitos da cinza de olaria nas características do gesso, comparando os resultados das amostras modificadas (T-5 e T-10) com uma amostra controle (T-0). Os resultados obtidos indicaram que a adição de cinza de olaria nas proporções de 5% e 10% promoveram um aumento significativo na resistência à compressão e à flexão das placas de gesso. Especificamente, as amostras T-5 e T-10 demonstraram uma melhoria na coesão interna da matriz de gesso, resultando em maior resistência mecânica em comparação com a amostra de controle. As conclusões do estudo apontam que a incorporação e reutilização de resíduos industriais como aditivos no gesso pode reduzir o impacto ambiental da construção, ao mesmo tempo em que oferece uma solução técnica viável para o desenvolvimento de materiais mais eficientes e duráveis. No entanto, a implementação dessa prática em larga escala no Brasil requer a superação de desafios, como a garantia da uniformidade e qualidade das cinzas utilizadas, além da necessidade de regulamentações específicas para assegurar a consistência e segurança dos materiais produzidos.

**Palavras-chave:** sustentabilidade; cinza de olaria; propriedades mecânicas; gesso modificado.

## ABSTRACT

Given the growing demand for construction practices that promote sustainability and efficiency, the reuse of industrial waste has become an important strategy to minimize environmental impacts. This study aimed to contribute to this trend by investigating the impact of adding brick kiln ash to the mechanical properties of gypsum boards, with the goal of developing more sustainable materials for the construction sector. The research was conducted using a quantitative methodology, classified as experimental and explanatory. Gypsum samples were prepared with the addition of brick kiln ash in the established proportions of 5% and 10% and were subjected to tests to evaluate their mechanical properties. The methodology also included the characterization of the materials used, according to applicable technical standards. These procedures enabled a detailed analysis of the effects of brick kiln ash on the characteristics of gypsum, comparing the results of the modified samples (T-5 and T-10) with a control sample (T-0). The results showed that the addition of brick kiln ash in the proportions of 5% and 10% led to a significant increase in the compressive and flexural strength of the gypsum boards. Specifically, the T-5 and T-10 samples demonstrated improved internal cohesion of the gypsum matrix, resulting in greater mechanical strength compared to the control sample. The study's conclusions suggest that the incorporation and reuse of industrial waste as additives in gypsum can reduce the environmental impact of construction while offering a viable technical solution for the development of more efficient and durable materials. However, the large-scale implementation of this practice in Brazil requires overcoming challenges such as ensuring the uniformity and quality of the ashes used, as well as the need for specific regulations to ensure the consistency and safety of the materials produced.

**Keywords:** sustainability; brick kiln ash; mechanical properties; modified gypsum.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Caracterização das cinzas de olaria .....	24
Quadro 2 – Caracterização do gesso no estado anidro (pó) .....	25
Quadro 3 – Caracterização do gesso no estado fresco (pasta).....	25
Quadro 4 – Caracterização do gesso no estado endurecido.....	25
Quadro 5 – Tipos de placas produzidas.....	30

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caracterização do estado em pó: a) pesagem do material de gesso; b) ensaio de massa específica do gesso puro; c) ensaio de massa específica do gesso com adição de cinzas; d) passagem do material na série de peneiras; e) execução do ensaio de granulometria; f) ensaio de massa específica da cinza de olaria.....	28
Figura 2 – Caracterização do estado fresco: a) ensaio de consistência normal; b) ensaio de tempo de pega; c) misturando a pasta de gesso; d) preparação para o ensaio de consistência normal; e) execução do ensaio de consistência normal; f) execução do ensaio de tempo de pega. ....	29
Figura 3 – Caracterização do estado endurecido: a) moldando os corpos de prova; b) corpos de prova desmoldados; c) cortes para execução dos ensaios; d) ensaio de resistência à compressão; e) corpos de prova rompidos .....	30
Figura 4 – Processo de produção das placas: a) preparação da argamassa de gesso com adições de cinzas; b) preparação do molde da placa; c) colocando argamassa na fôrma; d) argamassa colocada na fôrma; e) placas moldadas; f) placas desmoldadas.....	31
Figura 5 – Caracterização das placas: a) ensaio de medida dos lados das placas; b) ensaio de medidas das diagonais das placas; c) determinação da massa das placas; d) ensaio de resistência à flexão; e) ensaio de massa específica da placa; f) ensaio da deflexão diagonal.....	31
Figura 6 – Medidas da placa.....	32
Figura 7 – Diagonais da placa .....	32
Figura 8 – Flexão diagonal .....	32
Figura 9 – Espessura e largura do reforço .....	33
Figura 10 – Espessura da região central .....	33
Figura 11 – Curva granulométrica.....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados dos módulos de finura.....	38
Gráfico 2 – Massa unitária e massa específica dos compósitos .....	40
Gráfico 3 – Tempo de pega das misturas .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores obtidos no ensaio de granulometria.....	34
Tabela 2 – Massa unitária.....	36
Tabela 3 – Massa específica .....	37
Tabela 4 – Consistência normal.....	39
Tabela 5 – Tempo de pega para as misturas .....	41
Tabela 6 – Dureza das misturas no estado endurecido.....	42
Tabela 7 – Resistência à compressão dos corpos de provas em diferentes misturas.....	43
Tabela 8 – Massa das placas.....	44
Tabela 9 – Lados das placas .....	44
Tabela 10 – Diagonais das placas.....	45
Tabela 11 – Deflexão diagonal das placas.....	45
Tabela 12 – Folga nos encaixes.....	46
Tabela 13 – Espessura e largura do reforço lateral.....	47
Tabela 14 – Determinação da espessura na região das placas.....	48
Tabela 15 – Massa específica das placas.....	48
Tabela 16 – Resistência à flexão das placas .....	50
Tabela 17 – Resistência do elemento de fixação.....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
3.1	PROPRIEDADES DO GESSO .....	17
3.1.1	Resistência à compressão.....	17
3.1.2	Tempo de pega .....	17
3.1.3	Módulo de finura.....	17
3.2	VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO GESSO.....	18
3.3	APLICAÇÕES DO GESSO.....	18
3.4	PLACAS DE GESSO: VERSATILIDADE E BENEFÍCIOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	19
3.4.1	Dimensões padronizadas e ampla disponibilidade.....	19
3.4.2	Aplicações diversas para ambientes funcionais .....	19
3.4.3	Processo de fabricação e propriedades vantajosas .....	20
3.5	CINZAS DE OLARIAS: PROPRIEDADES, USOS E APLICAÇÕES .....	20
3.5.1	Propriedades e características .....	20
3.5.2	Usos em pesquisa .....	21
3.5.3	Usos na construção civil.....	21
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>23</b>
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	23
4.2	MÉTODO DA PESQUISA.....	24
4.2.1	Coleta e amostragem dos materiais.....	24
4.2.2	Caracterização do resíduo de cinza e do gesso .....	24

	13
4.2.3 Produção das placas de gesso.....	30
4.2.4 Caracterização das placas de gesso .....	31
<b>5 RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>36</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO GESSO EM PÓ E DAS CINZAS DE OLARIA .....	36
5.1.1 Caracterização granulométrica e módulo de finura .....	36
5.1.2 Massas unitária e específica .....	38
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO FRESCO (PASTA) .....	40
5.2.1 Consistência normal .....	40
5.2.2 Tempo de pega .....	42
5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS E DO ESTADO ENDURECIDO .....	44
5.3.1 Ensaio de dureza .....	44
5.3.2 Resistência à compressão .....	45
5.3.3 Determinação da massa das placas .....	45
5.3.4 Medida dos lados das placas .....	46
5.3.5 Medida da diagonal das placas.....	47
5.3.6 Determinação da deflexão da diagonal .....	47
5.3.7 Determinação da folga dos encaixes .....	48
5.3.8 Determinação da espessura e largura do reforço lateral.....	48
5.3.9 Determinação da espessura na região central.....	49
5.3.10 Determinação da massa específica da placa .....	50
5.3.11 Determinação da resistência à flexão.....	50
5.3.12 Determinação da resistência do elemento de fixação .....	51
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil exerce um papel de destaque na economia, gerando empregos e impulsionando setores correlatos. Ela é vital para o desenvolvimento socioeconômico, uma vez que diversas outras indústrias dependem diretamente da construção, como a de fornecimento de materiais, transporte e serviços. Além disso, a construção civil influencia diretamente a qualidade de vida das comunidades e a infraestrutura urbana (Durante *et al.*, 2023).

É crucial enfrentar desafios significativos relacionados à gestão de resíduos sólidos e ao consumo de energia na construção civil. A busca por soluções inovadoras e práticas sustentáveis é essencial para mitigar o impacto ambiental desse setor em escala global e promover um futuro mais sustentável. Diante disso, para atender a essa demanda, a indústria utiliza uma variedade de materiais e técnicas construtivas. Entre os materiais de destaque estão as placas de gesso, conhecidas pela sua versatilidade e eficiência em diferentes aplicações, como na construção de paredes, forros e divisórias. Elas são produzidas a partir de uma composição simples de gesso, água, o que as torna uma escolha sustentável e de baixo impacto ambiental (Lopes, 2012).

Ao considerar a industrialização da gipsita, é importante ressaltar que ela desempenha um papel significativo no suprimento de matéria-prima essencial para a produção de componentes de gesso. Nos últimos anos, observou-se um notável aumento na demanda por gipsita, impulsionado por diversos fatores relevantes. Primeiramente, o setor da construção civil tem experimentado um crescimento significativo, com estimativas da pesquisa realizada por Robinson (2015), apontando para um valor de mercado de US\$ 8 trilhões até 2030. O gesso, material essencial na construção de *drywall*, revestimentos e acabamentos, tem desempenhado um papel fundamental nesse cenário, elevando a procura por gipsita, impulsionado pelo crescimento do setor da construção civil e pela necessidade de soluções construtivas eficientes.

Paralelamente, medidas têm sido implementadas para promover uma extração responsável e sustentável da gipsita, visando a preservação dos recursos naturais e a redução do impacto ambiental associado a essa atividade. Essa abordagem demonstra um compromisso com a busca por práticas mais conscientes e sustentáveis na indústria da construção (Beserra, 2023).

Melo e Ferreira (2023) afirmam que a utilização de resíduos industriais na construção civil tem ganhado destaque como uma prática sustentável e economicamente viável, contribuindo para a redução do impacto ambiental e aproveitamento de materiais que, de outra

forma, seriam descartados. Nesse cenário, as cinzas de olarias, subproduto gerado pela indústria de cerâmica vermelha, têm despertado um interesse crescente como um produto potencial de incorporação em diversas aplicações construtivas.

O uso desse rejeito na fabricação de placas de gesso tem sido objeto de estudo ao longo de vários anos, demonstrando potenciais benefícios tanto para as propriedades do material quanto para o meio ambiente. Internacionalmente, países como China, Estados Unidos, Índia e nações europeias têm investido em tecnologias para essa incorporação, visando mitigar os impactos ambientais da construção civil (Kohonen, 2005). No contexto brasileiro, embora ainda incipiente, observa-se um crescente interesse nessa prática, motivado pelos ganhos ambientais que ela pode proporcionar (Antunes, 2017).

Composta principalmente por óxido de cálcio (CaO), dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) e óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), além de outros óxidos como óxido de magnésio (MgO), óxido de ferro (III) (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), as cinzas de olarias possuem características químicas que as tornam promissoras para aprimorar propriedades de materiais de construção (Silva *et al.* 2020).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo principal analisar as propriedades mecânicas e físicas com a incorporação do resíduo de cinza de olaria na confecção de placas de gesso, com foco em analisar os impactos dessa adição tanto nas propriedades mecânicas do material quanto nos benefícios ambientais que essa prática pode oferecer. A relevância deste estudo está na busca por alternativas sustentáveis para a construção civil, promovendo o aproveitamento de resíduos industriais e contribuindo para a redução do impacto ambiental, ao mesmo tempo em que se desenvolvem novos materiais com desempenho técnico adequado.

Assim este trabalho com introdução no primeiro capítulo mostra no segundo capítulo os objetivos do estudo, o terceiro capítulo compreende o embasamento teórico sobre os materiais avaliados. No quarto capítulo, são descritos a metodologia e os ensaios experimentais realizados. O quinto capítulo é dedicado à análise dos resultados, discutidos à luz dos objetivos estabelecidos. Por fim, o sexto capítulo reúne as conclusões da pesquisa.

## **2 OBJETIVOS**

Nesse capítulo estão delineados os objetivos do Trabalho de Conclusão do Curso (TCC).

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar as propriedades mecânicas e físicas com a incorporação do resíduo de cinza de olaria na confecção de placas de gesso.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar ensaios de caracterização dos materiais (resíduos e gesso) que compõem as placas de gesso;
- avaliar os benefícios da incorporação de cinzas de olarias em placas de gesso para as propriedades mecânicas e ambientais;

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

O gesso, um material com rica história na construção civil, continua a ser um elemento essencial em diversos projetos. Derivado da gipsita, um mineral abundante, o gesso é produzido a partir do seu aquecimento e moagem, resultando em um pó fino. Classificado como um aglomerante aéreo, o gesso tem a capacidade de endurecer rapidamente em contato com a água, sendo amplamente utilizado em revestimentos, forros e na criação de divisórias. Sua versatilidade, aliada à facilidade de aplicação e às suas propriedades benéficas, o torna uma escolha frequente para arquitetos, engenheiros e construtores, proporcionando soluções práticas e esteticamente agradáveis para o setor (Cunha, 2015).

#### 3.1 PROPRIEDADES DO GESSO

Nesta subseção são apresentados conceitos essenciais para a compreensão da utilização dos materiais analisados neste trabalho.

##### 3.1.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão do gesso é um parâmetro essencial que determina sua capacidade de suportar cargas verticais. Medida em MPa (mega Pascal), essa resistência varia conforme a composição e tipo de gesso. Enquanto o gesso comum apresenta uma resistência à compressão entre 5 e 15 MPa de acordo com Silva *et al.* (2020). O gesso reforçado com fibras pode alcançar valores superiores a 30 MPa (Neves; Lima, 2019).

##### 3.1.2 Tempo de pega

O tempo de pega do gesso refere-se ao intervalo entre a mistura com água e o início do endurecimento. Esse período é crucial para a aplicação adequada do material, pois define o tempo disponível para trabalhá-lo. Geralmente, o gesso comum tem um tempo de pega variando entre 5 e 30 minutos (Santos; Pereira, 2021).

##### 3.1.3 Módulo de finura

De acordo com Melo e Souza (2022), o módulo de finura do gesso indica a granulometria do material, indicado pelo tamanho médio das partículas. Expresso em mm, esse parâmetro influencia a trabalhabilidade, resistência e propriedades acústicas do gesso. Partículas mais finas resultam em um material mais liso, com melhor aderência e resistência.

### 3.2 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO GESSO

O gesso, material versátil e comumente utilizado na construção civil, apresenta uma série de vantagens que o tornam uma excelente opção para diversos tipos de projetos. Suas propriedades, como resistência, durabilidade e facilidade de aplicação, aliadas à sua estética e sustentabilidade, o consolidam como um dos materiais mais utilizados no acabamento de ambientes internos. Com isso, deve-se notar algumas das principais características do gesso e suas aplicações:

- Versatilidade: pode ser utilizado em revestimentos, divisórias, forros, molduras e elementos decorativos (Silva; Freitas, 2018);
- Fácil aplicação: a aplicação é simples e rápida, permitindo a execução ágil e eficiente de projetos (Neves; Oliveira, 2020);
- Acabamento liso: proporciona um acabamento uniforme, frequentemente dispensando a necessidade de pintura (Santos; Almeida, 2019);
- Durabilidade: É um material durável e resistente, com longa vida útil quando aplicado e mantido adequadamente (Maciel; Barros; Sabbatini, 1998);
- Isolamento térmico e acústico: possui propriedades isolantes que contribuem para o conforto ambiental dos espaços (Silva; Gomes, 2022);
- Resistência ao fogo: naturalmente resistente ao fogo, o gesso retarda a propagação de chamas em caso de incêndio (Silva; Gomes, 2022);
- Sustentabilidade: a produção do gesso tem baixo impacto ambiental e é reciclável em algumas situações (Santos; Almeida, 2029).

### 3.3 APLICAÇÕES DO GESSO

As aplicações do gesso abrangem desde acabamentos internos até elementos decorativos, destacando-se pela facilidade de manuseio, rapidez na aplicação e características que promovem conforto térmico e acústico em diversos ambientes. Dentre suas aplicações se destacam:

- Revestimentos: utilizado em paredes e tetos para proporcionar um acabamento liso e uniforme (Silva; Delgado, 2021);
- Divisórias: leves e modulares, as divisórias de gesso são fáceis de instalar e oferecem bom isolamento acústico (Silva; Delgado, 2021);
- Forros: versáteis, os forros de gesso são aplicáveis em diversos ambientes, melhorando a

estética e o conforto acústico;

- Molduras: utilizado na confecção de molduras decorativas para paredes, tetos e outros elementos arquitetônicos.

### 3.4 PLACAS DE GESSO: VERSATILIDADE E BENEFÍCIOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As placas de gesso, também conhecidas como *drywall*, conquistaram espaço como material essencial na construção civil moderna. Oferecendo versatilidade, praticidade e diversas vantagens em relação aos métodos tradicionais, elas estão cada vez mais presentes em projetos novos e reformas. Suas características inovadoras e os benefícios proporcionados impulsionam a crescente utilização.

#### 3.4.1 Dimensões padronizadas e ampla disponibilidade

As placas de gesso estão disponíveis em uma variedade de tamanhos e espessuras para atender a diferentes necessidades construtivas. As dimensões padronizadas mais comuns são:

- Comprimento: 0,60 m, 0,65 m, 0,70 m, 1,20 m, 2,40 m, 2,50 m e 3,00 m;
- Largura: 0,60 m, 0,65 m, 0,70 m, 0,90 m e 1,20 m;
- Espessura: 9,5 mm, 12,5 mm, 15 mm, 18 mm, 25 mm e 30 mm.

Encontradas facilmente em lojas de materiais de construção, *home centers* e distribuidores especializados, o custo das placas varia de acordo com o tamanho, espessura e marca do produto.

#### 3.4.2 Aplicações diversas para ambientes funcionais

As placas de gesso possuem uma ampla gama de aplicações na construção civil, conforme declarado por Knauf Gypsum do Brasil (2023), atendendo tanto a necessidades funcionais quanto estéticas. No caso de revestimentos, elas são ideais para paredes e tetos, proporcionando um acabamento liso e uniforme, muitas vezes dispensando a necessidade de reboco e pintura. Já nas divisórias, sua leveza, modularidade e fácil instalação tornam as placas de gesso uma solução eficiente, oferecendo bom isolamento acústico e auxiliando na criação de ambientes privativos. Além disso, os forros de gesso são versáteis e podem ser aplicados em diferentes tipos de ambientes, contribuindo para a estética e o conforto acústico.

‘As placas de gesso também se destacam em elementos decorativos, como nichos, molduras e outros elementos personalizados, permitindo a criação de um visual moderno e elegante nos espaços. Nos rebaixamentos, elas possibilitam embutir luminárias, esconder tubulações e criar efeitos visuais no teto, conferindo sofisticação ao ambiente. Essas variadas aplicações fazem do gesso um material amplamente utilizado na construção civil, combinando funcionalidade, estética e versatilidade.

### *3.4.3 Processo de fabricação e propriedades vantajosas*

Segundo Gyplac (2023), o processo de fabricação das placas de gesso envolve várias etapas fundamentais. Primeiro, ocorre a preparação da massa base, composta por gesso, água, aditivos e fibras, que é então moldada em placas retangulares por meio de esteiras transportadoras. Após a moldagem, as placas passam por um processo de secagem controlada para garantir a consistência e resistência do material. Por fim, elas recebem acabamentos que podem incluir pintura, texturização, aplicação de papel de parede ou revestimentos cerâmicos, dependendo da finalidade de uso.

As placas de gesso possuem diversas vantagens para o setor da construção civil. Elas são leves, o que facilita tanto o transporte quanto a instalação, e seu processo de montagem é rápido, utilizando ferramentas e técnicas específicas. Além disso, são altamente versáteis, podendo ser aplicadas em revestimentos ou elementos decorativos, e oferecem bom isolamento acústico, sendo ideais para ambientes que necessitam de controle de ruído. Outro ponto positivo é a resistência ao fogo, que proporciona maior segurança em caso de incêndios. Sua flexibilidade permite criar formas curvas e ângulos diferenciados, enquanto seu processo de produção apresenta baixo impacto ambiental, com possibilidade de reciclagem em alguns casos.

## **3.5 CINZAS DE OLARIAS: PROPRIEDADES, USOS E APLICAÇÕES**

As cinzas de olarias são obtidas a partir da coleta dos gases de combustão dos fornos de olarias. Esses gases carregam partículas finas de argila queimada, que se precipitam e se acumulam em filtros ou silos (Griep, 2014). O processo de coleta e armazenamento das cinzas precisa ser cuidadoso para evitar a emissão de poeira e garantir a qualidade do material.

### *3.5.1 Propriedades e características*

Segundo Griep (2014), as cinzas de olarias são compostas principalmente por sílica, alumina, óxido de ferro e outros minerais em menores proporções, sendo que sua composição química exata varia conforme a argila utilizada na produção e as condições de queima. Essas cinzas apresentam diversas propriedades que as tornam úteis na construção civil. Uma delas é a fina granulometria, com partículas geralmente menores que 100 micrômetros, o que faz com que sejam leves e fáceis de dispersar em água ou em outros materiais. Além disso, as cinzas de olarias possuem propriedades específicas, reagindo com a cal na presença de água para formar compostos semelhantes ao cimento, o que aumenta a resistência e durabilidade de concreto e argamassas.

Outro ponto relevante é o baixo custo das cinzas de olarias, pois elas são um subproduto da produção de materiais cerâmicos, tornando-as uma opção acessível. Além disso, seu uso promove a sustentabilidade, já que sua aplicação como material de construção contribui para a redução da quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, incentivando práticas mais sustentáveis na indústria da construção. Dessa forma, as cinzas de olarias oferecem uma combinação de vantagens econômicas, técnicas e ambientais.

### 3.5.2 Usos em pesquisa

Para Bui *et al.* (2018), as cinzas de olarias têm sido utilizadas em diversas pesquisas em áreas como:

- Desenvolvimento de novos materiais de construção: as cinzas de olarias podem ser utilizadas como aditivo em concreto, argamassas, blocos de concreto e outros materiais, buscando melhorar suas propriedades como resistência, durabilidade e isolamento térmico;
- Tratamento de águas: as cinzas de olarias podem ser utilizadas como adsorventes para remover metais pesados e outros contaminantes da água;
- Produção de cerâmica: as cinzas de olarias podem ser utilizadas como matéria-prima na produção de novos tipos de cerâmicas com propriedades aprimoradas, como menor absorção de água e maior resistência mecânica.

### 3.5.3 Usos na construção civil

Na construção civil, as cinzas de olarias podem ser utilizadas em diversas aplicações, como:

- Aditivo em concreto e argamassas: as propriedades pozolânicas das cinzas de olarias as tornam um aditivo útil para aumentar a resistência, durabilidade e trabalhabilidade do

concreto e das argamassas;

- Preenchimento de vazios: as cinzas de olarias podem ser utilizadas para preencher vazios em obras de construção, como entre fundações e paredes ou em áreas inacessíveis para outros materiais;

- Estabilização de solos: as cinzas de olarias, quando estabilizadas quimicamente, podem ser utilizadas para melhorar a capacidade de suporte de carga de solos fracos, permitindo a construção em áreas com solos problemáticos (Liu *et al.*, 2024).

## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo, é descrita a metodologia e os ensaios experimentais realizados, incluindo a caracterização dos materiais, a preparação das amostras e os ensaios mecânicos realizados no produto final.

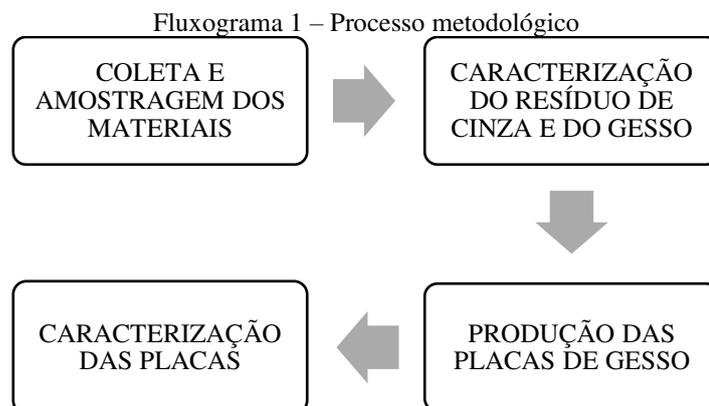
### 4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este estudo seguiu uma abordagem quantitativa, integrando-se a uma pesquisa aplicada, explicativa e experimental. A escolha por uma abordagem quantitativa implica na coleta e análise de dados numéricos, possibilitando uma avaliação objetiva das informações investigadas. A pesquisa aplicada direciona os esforços para solucionar problemas práticos e gerar conhecimentos aplicáveis à realidade, enquanto a explicativa busca compreender as relações de causa e efeito por meio da identificação de variáveis (Coelho, 2019).

No contexto dos objetivos, este estudo visou não apenas descrever especificações, mas também explicá-los, proporcionando uma compreensão mais profunda. O caráter experimental indica a manipulação de variáveis controladas, permitindo inferências causais.

Quanto à natureza, esta pesquisa se inseriu em um contexto explicativo, buscando entender os porquês por trás das características observadas. A abordagem quantitativa, por sua vez, viabiliza a análise estatística dos dados, contribuindo para a objetividade na interpretação dos resultados (Pereira, 2018).

O processo metodológico adotado para o presente estudo, apresenta-se no Fluxograma 1.



Fonte: Autoria própria (2023).

Este fluxograma representa de forma esquematizada as etapas da pesquisa, desde a definição dos objetivos até a análise estatística dos resultados, evidenciando a sequência lógica e interconectada das atividades realizadas ao longo do estudo.

## 4.2 MÉTODO DA PESQUISA

Durante o processo de pesquisa para este trabalho, foram conduzidas pesquisas bibliográficas em base de dados de pesquisa, tais como Scopus e SciELO, entre outros. As fontes consultadas incluíram uma variedade de literaturas, abrangendo livros, monografias, normas e outros recursos relevantes. A seleção cuidadosa dessas fontes proporcionou uma base sólida para a fundamentação teórica do estudo, garantindo a incorporação de diversas perspectivas e contribuições significativas para a análise proposta.

Todos os experimentos foram realizados em laboratórios específicos, seguindo as Normas Brasileiras (NBR's) vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

### 4.2.1 Coleta e amostragem dos materiais

Os resíduos de cinzas de olarias foram obtidos na forma de pó a partir de uma olaria localizada no Município de São João do Rio do Peixe–PB. Posteriormente, esses rejeitos foram transportados para o laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal da Paraíba (IFPB)-*Campus* Cajazeiras, onde foram submetidos a um processo de triagem.

O gesso utilizado neste estudo foi adquirido em uma loja de materiais de construção no mercado da Cidade de Juazeiro do Norte-CE. Essas características garantem um desempenho excelente quando aplicado na construção civil, seja como aglomerante na fabricação de pré-moldados ou na aplicação como revestimento de paredes e forros.

### 4.2.2 Caracterização do resíduo de cinza e do gesso

Nesta fase, foram realizados testes e análises para compreender as propriedades físicas do aglomerante e do resíduo reciclado, que são componentes essenciais na produção das placas de gesso sustentáveis.

#### a) Caracterização do resíduo de cinza

O material foi utilizado sem nenhum tipo de beneficiamento, passando apenas por um período de secagem natural ao ar livre, seguido de 24 horas em uma estufa a uma temperatura de 105°C, para facilitar a sua desagregação e subsequente peneiramento.

Em seguida, os ensaios de caracterização das cinzas de olarias foram conduzidos para avaliar suas propriedades físicas, contribuindo assim para o entendimento e a utilização eficiente desse material na produção de componentes construtivos sustentáveis, assim como segue no Quadro 1.

Quadro 1 – Caracterização das cinzas de olaria.

<b>Índice</b>	<b>Norma</b>
Granulometria	NBR 12127 (ABNT, 2019a) - Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas do pó
Módulo de Finura	
Massa Unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021) - Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios
Massa Específica	NBR 16605 (ABNT, 2017a) - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica

Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados dos ensaios foram cotejados com as diretrizes estipuladas pela norma NBR 16382 (ABNT, 2015) que estabelece os requisitos para placas de gesso em forros. Essa norma estabelece critérios específicos para as placas, funcionando como um guia técnico. Ao cotejar os resultados com esses padrões, é possível verificar se os parâmetros medidos estão em conformidade com as especificações normativas. Essa comparação é essencial para validar e aplicar de maneira prática os dados, assegurando a qualidade das placas de gesso destinadas a forros.

#### b) Caracterização do gesso

O gesso foi caracterizado nos estados anidro (pó), fresco e endurecido, utilizando os métodos delineados nos Quadros 2, 3 e 4, respectivamente.

Quadro 2 – Caracterização do gesso no estado anidro (pó).

<b>Índice</b>	<b>Norma</b>
Granulometria	NBR 12127 (ABNT, 2019a) - Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas do pó
Módulo de Finura	
Massa Unitária	
Massa específica	NBR 16605 (ABNT, 2017a) - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica

Fonte: Autoria própria (2023).

Quadro 3 – Caracterização do gesso no estado fresco (pasta).

<b>Índice</b>	<b>Norma</b>
Consistência Normal	NBR 12128 (ABNT, 2019b) - Gesso para construção civil - Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso
Tempo de Pega	

Fonte: Autoria própria (2023).

Quadro 4 – Caracterização do gesso no estado endurecido.

<b>Índice</b>	<b>Norma</b>
Dureza	NBR 13207-3 (ABNT, 2023) - Gesso para construção civil Parte 3: Determinação das propriedades mecânicas
Resistência à Compressão	

Fonte: Autoria própria (2023).

Os ensaios para a caracterização do composto no estado anidro (pó) tiveram as seguintes formulações em seus respectivos processos em laboratório para obtenção dos resultados.

Para a caracterização granulométrica do gesso, uma amostra de 50 gramas foi submetida a um processo de secagem em estufa a uma temperatura controlada de  $(40 \pm 4) ^\circ\text{C}$ . Após a

secagem, o material foi passado por uma série de quatro peneiras vibratórias, padronizadas pela ABNT, com aberturas nominais de 0,84 mm, 0,420 mm, 0,210 mm e 0,105 mm, correspondentes às malhas 20, 40, 70 e 140, respectivamente. O peneiramento foi realizado de forma sequencial, iniciando pela de maior abertura e seguindo para as de menor abertura, com o objetivo de determinar a distribuição das partículas do gesso nas diferentes faixas granulométricas.

O Módulo de Finura ( $MF$ ) foi calculado aplicando a Equação 1.

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

Onde:

$MF$  é o módulo de finura;

$\Sigma Ra$  é o somatório do percentual retido acumulado em cada peneira da série-padrão.

A massa unitária de um material, definida pela NBR 12127 (2019a), corresponde à relação entre a massa de uma quantidade específica do material, em seu estado não compactado, e o volume ocupado por essa massa. Para determinar a massa unitária do gesso, a norma prescreve um método que consiste em permitir que uma amostra do material flua livremente através de um funil até preencher completamente um recipiente de volume conhecido. A massa da amostra que se acumulou no recipiente, dividida pelo volume do recipiente, resulta no valor da massa unitária.

Para cálculo da massa unitária, tem-se a Equação 2.

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

Onde:

$M_u$  é massa unitária, em g/cm<sup>3</sup> (caso queira em kg/m<sup>3</sup>, multiplica-se o valor da divisão por 1000);

$M$  é a massa de gesso do recipiente, em g;

$V$  é volume do recipiente, em cm<sup>3</sup>.

A massa específica de um material representa a massa por unidade de volume, desconsiderando os espaços vazios. Para determiná-la no gesso, emprega-se o frasco volumétrico de Le Chatelier. Inicialmente, uma quantidade conhecida de gesso é introduzida em um frasco contendo querosene até a marca de 1 cm<sup>3</sup>. Em seguida, observa-se o novo volume ocupado pelo líquido após a adição do gesso. A diferença entre os volumes inicial e final corresponde ao volume do gesso. A massa específica é, então, calculada dividindo a massa do

gesso pelo volume por ele ocupado.

A massa específica do material deve ser calculada pela Equação 3.

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

Sendo:

$\rho$  é a massa específica do material ensaiado, em g/cm<sup>3</sup>;

$m$  é a massa do material ensaiado, em g;

$V$  é o volume deslocado pela massa do material ensaiado, em cm<sup>3</sup>.

Os ensaios de caracterização da mistura já no estado fresco (pasta), seguiu-se as posteriores formulações para realização e definições finais a partir dos resultados obtidos.

A consistência normal de uma pasta de gesso, conforme estabelecido pela NBR 12128 (ABNT, 2019b), é definida pela relação água/gesso que resulta em uma fluidez ideal para a aplicação do material. Essa fluidez é avaliada utilizando um aparelho de Vicat, que mede a penetração de uma sonda padronizada na pasta. A consistência normal é alcançada quando a profundidade de penetração da sonda atinge (30 ± 2) mm. A preparação da pasta de gesso para este ensaio segue rigorosamente os procedimentos descritos na norma.

O tempo de pega do gesso é determinado de acordo com a norma NBR 12128 (2019b) utilizando o aparelho de Vicat. O início do tempo de pega é definido como o intervalo de tempo entre o momento em que o gesso é misturado com a água e o instante em que a agulha do aparelho de Vicat, ao ser inserida na pasta, atinge uma profundidade máxima de 1 mm, sem conseguir penetrar totalmente.

Por outro lado, o fim do tempo de pega corresponde ao período decorrido desde o início da mistura até o momento em que a agulha não mais deixa nenhuma marca visível na superfície da pasta, indicando o endurecimento completo.

A norma NBR 13207-3 (ABNT, 2023) estabelece os procedimentos para avaliar as propriedades mecânicas do gesso utilizado na construção civil. Essas propriedades incluem a dureza e a resistência à compressão. Para a realização desses ensaios, as pastas de gesso foram preparadas seguindo rigorosamente as orientações da norma, utilizando a relação água/gesso (a/g) previamente determinada no ensaio de consistência normal, conforme a NBR 12128 (ABNT, 2019b).

Para a preparação da massa de gesso necessária à formação de um volume de pasta suficiente para preenchimento do molde de três corpos de prova utiliza-se a Equação 4

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

Onde:

$Mg$  é a massa de gesso, expressa em gramas (g);

$C$  é a relação água/gesso determinada.

A massa de água necessária à mistura é calculada pela Equação 5.

$$Ma = Mg \times C \quad (5)$$

Onde:

$Ma$  é a massa de água, expressa em gramas (g);

$Mg$  é a massa do gesso, em gramas (g);

$C$  é a relação água/gesso determinada.

Para a determinação das propriedades mecânicas, foram moldados três corpos de prova cúbicos, com dimensões de 50 mm de aresta, para cada tipo de gesso. A moldagem foi realizada em moldes padronizados, confeccionados com materiais impermeáveis e inertes ao sulfato de cálcio, a fim de garantir a reprodutibilidade dos resultados e evitar interferências na cura do material.

Após um período de cura em condições ambientes, os corpos de prova foram removidos dos moldes e mantidos na mesma condição ambiente por mais 24 horas. Em seguida, pode-se realizar o ensaio de dureza e resistência à compressão.

Para determinação da dureza dos corpos de prova, utilizou-se o durômetro Shore C como instrumento de medição. Esse procedimento foi aplicado nas faces inferiores dos moldes e em outras duas faces laterais opostas de cada corpo de prova, garantindo a avaliação uniforme das propriedades do material em diferentes orientações. A dureza medida pelo durômetro Shore C, em unidade Shore C (u.s.c.), é verificada diretamente no visor do equipamento. Calcula-se a média aritmética das três leituras de cada corpo de prova e, por fim, a média global dos três corpos de prova.

Para o ensaio de resistência à compressão, aplica-se a carga em uma das faces laterais dos corpos de prova, excluindo a face superior e a face utilizada no ensaio de dureza.

O valor da resistência à compressão  $R$ , em MPa, é dado pela Equação 6.

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

Onde:

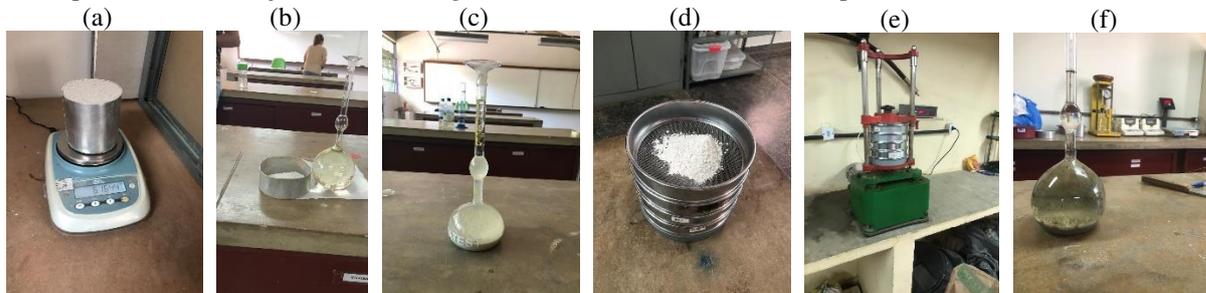
$P$  é a carga que produziu a ruptura do corpo de prova, expressa em Newtons (N);

$P$  é a área de seção transversal de aplicação da carga, expressa em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ ).

A comparação dos resultados obtidos com a norma NBR 13207 (ABNT, 2017b), que especifica os requisitos de gesso para construção civil é essencial para avaliar a conformidade e qualidade dos dados. Esta norma estabelece critérios e padrões específicos para o gesso na construção civil, fornecendo um referencial técnico. Ao confrontar os resultados com esses requisitos normativos, é possível determinar se os parâmetros medidos estão em conformidade com as especificações estabelecidas pela norma, garantindo a validade e relevância dos dados coletados para o contexto da construção civil. Essa comparação é crucial para assegurar a qualidade e a utilidade prática dos resultados da pesquisa.

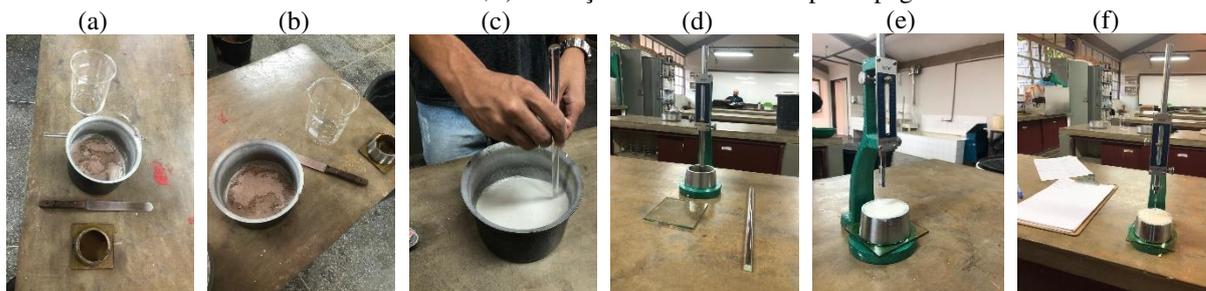
Esses ensaios são mostrados na Figura 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 1 – Caracterização do estado em pó: a) pesagem do material de gesso; b) ensaio de massa específica do gesso puro; c) ensaio de massa específica do gesso com adição de cinzas; d) passagem do material na série de peneiras; e) execução do ensaio de granulometria; f) ensaio de massa específica da cinza de olaria.



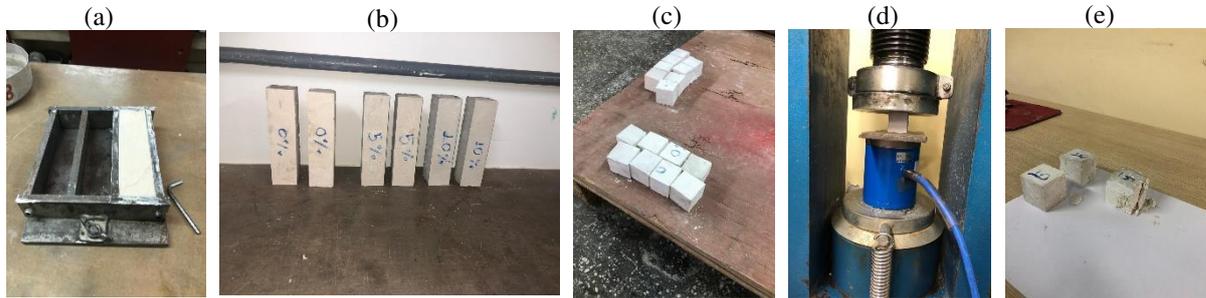
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 2 – Caracterização do estado fresco: a) ensaio de consistência normal; b) ensaio de tempo de pega; c) misturando a pasta de gesso; d) preparação para o ensaio de consistência normal; e) execução do ensaio de consistência normal; f) execução do ensaio de tempo de pega.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 3 – Caracterização do estado endurecido: a) moldando os corpos de prova; b) corpos de prova desmoldados; c) cortes para execução dos ensaios; d) ensaio de resistência à compressão; e) corpos de prova rompidos.



Fonte: Autoria própria (2024).

#### 4.2.3 Produção das placas de gesso

A produção de placas de gesso foi um processo artesanal que segue etapas específicas para garantir a qualidade e as propriedades desejadas do produto.

O processo de fabricação iniciou-se com a mistura do gesso com a água em um recipiente, com auxílio de um misturador mecânico. Em seguida a pasta foi vertida nas fôrmas de dimensões de (60 x 60 x 3) cm (largura x comprimento x espessura). Logo após, foi feito o acabamento, retirando-se o excesso de pasta nas fôrmas. E por fim, após endurecimento da pasta, as placas foram desenformadas.

Cada placa consome em torno de 5 kg de gesso e 5 l de água, compondo, portanto, um traço 1:1.

Para conduzir a pesquisa, foram fabricados 3 tipos de placas diferentes conforme o Quadro 5 e Figura 4.

Quadro 5 – Tipos de placas produzidas.

Placa	Traço
T-0	Convencional – Sem adição
T-5	Com incorporação de 5% de resíduo de cinza de olaria e 95% de gesso
T-10	Com incorporação de 10% de resíduo de cinza de olaria e 90% de gesso

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 4 – Processo de produção das placas: a) preparação da argamassa de gesso com adições de cinzas; b) preparação do molde da placa; c) colocando argamassa na fôrma; d) argamassa colocada na fôrma; e) placas moldadas; f) placas desmoldadas.



Fonte: Autoria própria (2024).

#### 4.2.4 Caracterização das placas de gesso

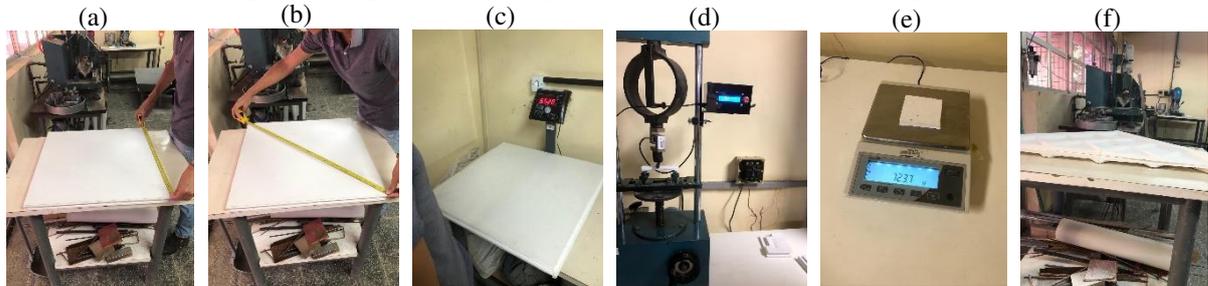
Ocorreu uma análise abrangente das placas de gesso, considerando suas dimensões, propriedades físicas e mecânicas. Após a fase de fabricação, tornou-se crucial examinar de perto as características desses produtos, uma vez que seu desempenho está diretamente vinculado a essas propriedades específicas.

A caracterização das placas de gesso incluiu propriedades-chave, como massa específica, deflexão da diagonal da placa, massa específica e resistência à flexão. Todos os ensaios realizados seguiram as diretrizes da NBR 12775 (ABNT, 2018) que especifica o método de ensaio para placas lisas de gesso para forro autoportante.

Essa abordagem visou não apenas entender as dimensões físicas das placas, mas também avaliar sua característica mecânica. Ao analisar esses elementos de acordo com padrões normativos, obteve-se *insights* valiosos sobre o desempenho comparativo das placas de gesso sustentáveis em relação às tradicionais. Este estudo sistemático proporcionou uma compreensão mais profunda das propriedades desses materiais, contribuindo para avanços significativos na aplicação e uso eficaz das placas de gesso na construção civil.

Para a realização dos ensaios a temperatura da sala de ensaios, de equipamentos e de materiais foram de  $(24 \pm 4) ^\circ\text{C}$  e a umidade relativa do ar  $(65 \pm 5) \%$ , conforme Figura 5.

Figura 5 – Caracterização das placas: a) ensaio de medida dos lados das placas; b) ensaio de medidas das diagonais das placas; c) determinação da massa das placas; d) ensaio de resistência à flexão; e) ensaio de massa específica da placa; f) ensaio para determinação da deflexão diagonal.



Fonte: Autoria própria (2024).

- Determinação da massa da placa: a massa da placa foi determinada por meio de pesagem antes do início dos ensaios. O valor da massa da placa deve ser determinado conforme a Equação 7.

$$M = M_1 - M_2 \quad (7)$$

Onde:

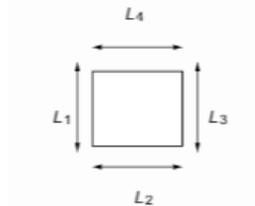
$M$  é a massa total da placa, expressa em quilogramas (kg);

$M_1$  é a massa da placa à temperatura ambiente, expressa em quilogramas (kg);

$M_2$  é a massa da placa condicionada em ambiente de laboratório, expressa em quilogramas (kg).

- Medida dos lados da placa: determinou-se, em cada placa, a medida dos lados paralelos, ( $L_1$  e  $L_3$  com  $L_2$  e  $L_4$ ) desprezando as saliências macho, utilizando régua metálica ou trena, como é demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Medidas da placa.

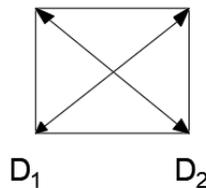


Fonte: Adaptado da NBR 12775 (ABNT, 2018).

O resultado deve ser a média de duas medidas dos lados paralelos, expresso em milímetros (mm).

- Medida da diagonal da placa: determinou-se, em cada placa, as diagonais dos lados, desprezando as saliências macho, utilizando régua metálica ou trena, constando na Figura 7.

Figura 7 – Diagonais da placa.

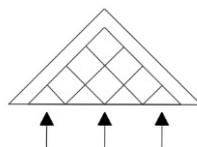


Fonte: Adaptado da NBR 12775 (ABNT, 2018).

O resultado deve ser a diferença da medida  $D_1$  e  $D_2$ , tomada em cada placa, expresso em milímetros (mm).

- Determinação da deflexão da diagonal: a placa foi cortada na diagonal, não coincidente com a área onde está inserido o elemento de fixação. Os dois elementos, após o corte, foram empilhados em superfície fixa, com as partes lisas internas sobrepostas. Em seguida foram feitas medições entre as faces da placa. Realizou-se três medições. Assim como segue na Figura 8.

Figura 8 – Flexão diagonal.



Fonte: Adaptado da NBR 12775 (ABNT, 2018).

A deflexão na diagonal é dada pela Equação 8.

$$Df = \frac{MV}{2} \quad (8)$$

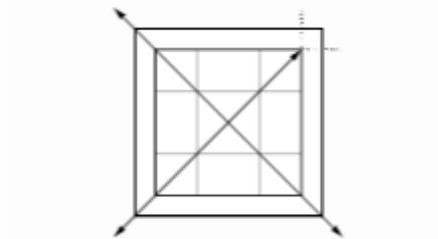
Onde:

$Df$  é a deflexão na diagonal, expressa em milímetros (mm);

$MV$  é o maior valor, expresso em milímetros (mm).

- Determinação da folga nos encaixes: foram encaixadas as saliências (macho) com as reentrâncias (fêmea). Em seguida foram realizadas as medições dos espaços vazios entre os encaixes. O resultado deve ser a média aritmética do valor das médias das medidas tomadas nos encaixes de cada placa, expresso em milímetros (mm).
- Determinação da espessura e largura do reforço lateral: a placa foi serrada em quatro partes. E após o procedimento foram tomadas quatro medidas dos lados da placa da espessura e da largura do reforço lateral com paquímetro, como apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Espessura e largura do reforço.

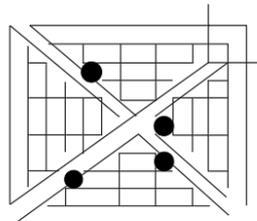


Fonte: Adaptado da NBR 12775 (ABNT, 2018).

O resultado deve ser a média das medidas tomadas dos valores da largura e da espessura do reforço lateral, expresso em milímetros (mm).

- Determinação da espessura na região central: mediu-se com paquímetro, em quatro pontos equidistantes, a espessura da placa ao longo das linhas de corte, não coincidentes com nervuras, relevos e depressões na superfície, conforme especificado na Figura 10.

Figura 10 – Espessura da região central.



Fonte: Adaptado da NBR 12775 (ABNT, 2018).

O resultado deve ser a média dos valores tomados na placa, expresso em milímetros (mm).

- Determinação da massa específica: retirou-se dois corpos de prova com forma de quadrado, com 80 mm de lado, evitando as regiões com deformações, de forma a não coincidir com os reforços existentes na placa. Calculou-se o volume a partir das medidas com paquímetro. Em seguida foi tomada a média das medidas da espessura nos quatro vértices. Determinou-se a massa de cada corpo de prova com auxílio de balança.

A massa específica de cada corpo de prova é dada como a média dos dois corpos de prova em cada placa e calculada conforme a Equação 9.

$$Me = \frac{m}{V} \quad (9)$$

Onde:

$Me$  é a massa específica, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

$m$  é a massa do corpo de prova, expressa em quilogramas (kg);

$V$  é o volume do corpo de prova, expresso em metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

- Determinação da resistência à flexão: foram retirados dois corpos de prova de forma retangular, com dimensões de (120 × 20) mm, evitando as regiões com deformações, de forma a não coincidir com os reforços existentes na placa. Após o ensaio de flexão para determinação da carga de ruptura, mediu-se a base e a altura nos pontos onde houve rompimentos, utilizando o paquímetro.

A resistência à flexão de cada corpo de prova é a resistência à flexão como a média dos dois corpos de prova em cada placa, dada pela Equação 10.

$$Rf = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (10)$$

Onde:

$Rf$  é a resistência à flexão, expressa em mega Pascal (MPa);

$P$  é a carga de ruptura, expressa em newtons (N);

$L$  é a distância entre os apoios, expressa em milímetros (mm);

$b$  é a base do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$h$  é a altura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

- Determinação da resistência do elemento de fixação: o corpo de prova que foi considerado nesse ensaio, foi a parte da placa onde se inseriu o elemento de fixação, como descreve o ensaio. Apoiou-se o corpo de prova em casa base sólida contendo uma área vazada de 70 mm de lado, onde o elemento de fixação ficou centrado. Foi colocado um gancho no elemento de fixação. Na outra extremidade do braço do equipamento, foram adicionadas massas de 3,0 kgf,

aproximadamente até ruptura. A expressão de resultado é dada em newtons (N).

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados exploram a influência da adição de cinza de olarias ao gesso, destacando como essa incorporação altera as características físicas do material. A análise mostra mudanças significativas, indicando a potencial melhoria de suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Esses dados são fundamentais para entender como o gesso modificado se comporta em termos de densidade, trabalhabilidade, e aplicação prática, além de reforçar o impacto positivo em termos de sustentabilidade no setor da construção civil.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO GESSO EM PÓ E DAS CINZAS DE OLARIA

A caracterização do gesso e das cinzas de olaria é essencial para avaliar como essas propriedades impactam o desempenho das placas de gesso modificadas.

#### 5.1.1 Caracterização granulométrica e módulo de finura

A análise granulométrica do gesso é essencial, pois determina a sua melhor aplicação. No Brasil, a maior parte dos gessos disponíveis comercialmente é composta principalmente de hemi-hidrato  $\beta$ , que, dependendo da granulometria, pode ser classificado como gesso para fundição ou para revestimento. A granulometria influencia várias outras propriedades do gesso, incluindo massa unitária, tempo de pega, consistência normal, dureza, resistência à compressão e aderência.

O Módulo de Finura é uma medida importante para entender a finura de um material, já que indica a quantidade de material retido nas peneiras. Com o aumento do módulo de finura, as partículas do material se tornam maiores. Em outras palavras, valores menores de módulo de finura indicam um material mais fino, com maior área específica, enquanto valores mais altos apontam para um material mais grosso, com menor área específica.

A distribuição granulométrica está apresentada na Tabela 1 e na Figura 11.

Tabela 1 – Valores 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	8	11
0,210	39	29	42	45
0,105	62	36	67	72
Fundo	100	100	100	100

<b>Módulo de Finura (MF)</b>	<b>1,07</b>	<b>0,84</b>	<b>1,17</b>	<b>1,28</b>
------------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------

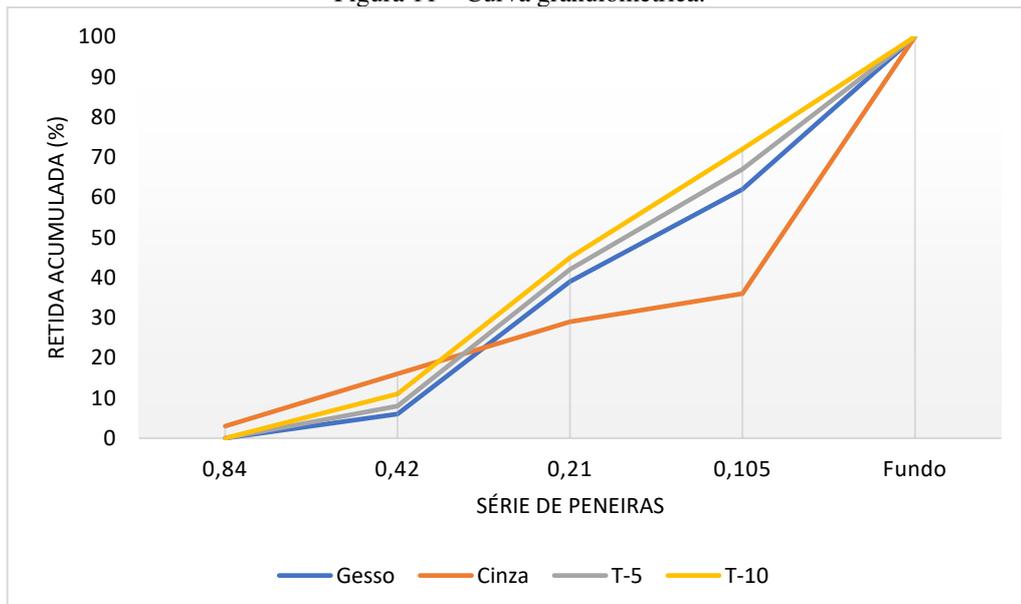
Fonte: Autoria própria (2024).

Como observado, 38% da amostra de gesso passou por todas as peneiras, evidenciando uma distribuição moderadamente fina, com MF de 1,07, adequado para aplicações onde uma certa coesão entre as partículas é necessária, como na preparação de pastas e argamassas de gesso.

A cinza apresenta uma distribuição granulométrica significativamente mais fina, com 64% do material passando por todas as peneiras. O que sugere que a cinza é um material muito mais fino em comparação ao gesso. Seu MF foi de 0,84, o que confirma essa característica. A presença de partículas muito finas pode influenciar a trabalhabilidade e a reatividade do material em outras misturas.

Já a incorporação de 5% de cinza (T-5) resultou em uma leve modificação na granulometria da mistura. Observa-se um aumento na quantidade de material retido nas peneiras mais finas (0,210 mm e 0,150 mm) e uma redução no material que passou por todas as peneiras, sendo um total de 33%. O MF aumentou para 1,17, indicando que a adição de cinza não alterou drasticamente a finura geral, mas conferiu uma leve alteração na quantidade de partículas finas. Esse efeito de aumento do módulo de finura pode ser explicado pela aglutinação de gesso nas partículas de cinzas incorporando em grãos maiores devido a essa junção. Como observado na curva granulométrica ilustrada na Figura 11.

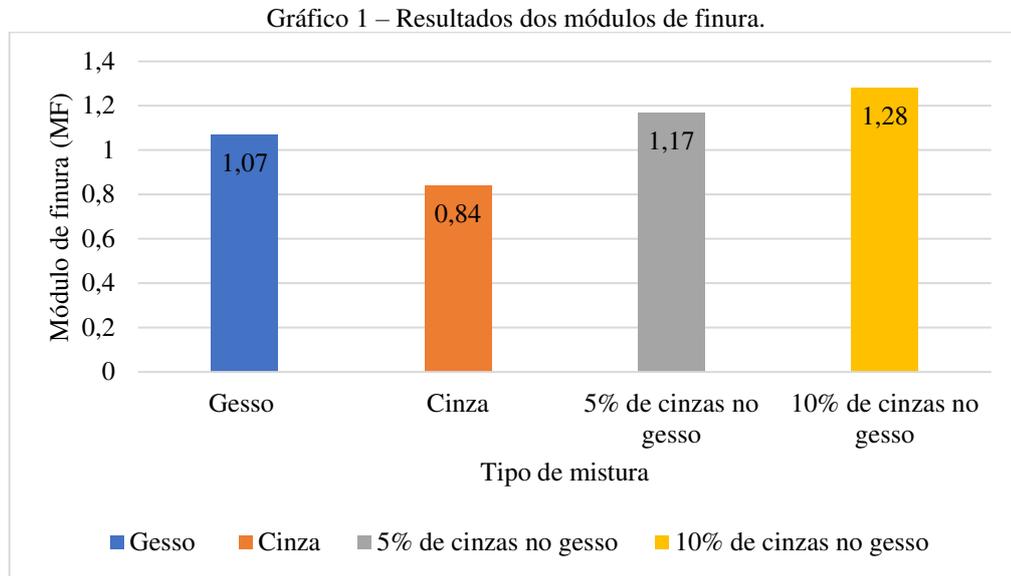
Figura 11 – Curva granulométrica.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por fim, a incorporação de 10% de cinza promoveu na mistura uma redistribuição das

partículas, com uma menor retenção nas peneiras mais grossas e uma maior retenção nas mais finas, especialmente na de 0,105 mm. O MF para esse traço foi de 1,28, indicando uma mistura relativamente fina. A maior quantidade de partículas finas pode levar a uma matriz mais densa e possivelmente mais resistente. Tais resultados apresentados no Gráfico 1.



Fonte: Autoria própria (2024).

Segundo a NBR 13207 (ABNT, 2017b), o gesso utilizado na mistura é classificado como de fundição uma vez que no ensaio de granulometria a porcentagem passante na peneira de 0,29 mm foi 48,23 g, maior que o especificado pela norma que é  $\geq 90\%$ .

### 5.1.2 Massas unitária e específica

A massa unitária é uma medida que reflete a densidade aparente de um material em estado solto, incluindo os vazios entre as partículas. Os dados obtidos na caracterização da massa unitária estão apresentados na Tabela 2 e no Gráfico 2.

Tabela 2 – Massa unitária.

Massa Unitária - Mu	Resultado (g/cm <sup>3</sup> )
Gesso	0,685
Cinza	0,652
T-5	0,670
T-10	0,674

Fonte: Autoria própria (2024).

A massa unitária do gesso é ligeiramente superior à da cinza de olaria. Essa diferença, embora pequena, é significativa em termos de densidade volumétrica.

A maior massa unitária do gesso indica que, por unidade de volume, ele contém mais material sólido e menos espaços vazios do que a cinza de olaria. Isso sugere que o gesso é um

material mais compacto em seu estado solto.

A menor massa unitária da cinza de olaria indica uma maior presença de vazios entre as partículas. Isso também sugere que a cinza de olaria pode oferecer melhor trabalhabilidade em misturas devido à sua menor densidade aparente.

Os traços T-5 e T-10 apresentam massas unitárias intermediárias entre o gesso e a cinza de olaria, sugerindo que suas densidades se situam entre esses dois extremos. O T-5, com massa unitária de  $0,670 \text{ g/cm}^3$ , mostra-se ligeiramente mais denso que a cinza, mas menos denso que o gesso, indicando uma estrutura um pouco mais compacta que a da cinza. Já o T-10, com massa unitária de  $0,674 \text{ g/cm}^3$ , apresenta a maior densidade entre os traços, exceto o gesso, aproximando-se mais da sua densidade e revelando uma estrutura mais compacta que a do T-5 e da cinza.

Os resultados se enquadram nos requisitos da NBR 13207 (ABNT, 2017b) que preconiza valores  $\geq 0,600 \text{ g/cm}^3$  para esse índice.

A massa específica representa a densidade real do material, excluindo os vazios entre as partículas. Apesar de não fazer parte dos requisitos normativos de gesso, é muito importante conhecer essa característica.

Os dados obtidos na caracterização da massa específica estão presente na Tabela 3 e no Gráfico 2.

Tabela 3 – Massa específica.

<b>Massa Específica - <math>\rho</math></b>	<b>Resultado (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>
Gesso	2,58
Cinza	2,67
T-5	2,61
T-10	2,60

Fonte: Autoria própria (2024).

Observa-se que a cinza de olaria possui uma massa específica ligeiramente superior à do gesso. Com uma massa específica de  $2,58 \text{ g/cm}^3$ , o gesso é um material leve, o que pode ser vantajoso em aplicações onde a redução do peso estrutural é necessária. Contudo, essa menor densidade intrínseca pode resultar em menor resistência mecânica, especialmente quando o gesso é utilizado em condições em que a carga estrutural é um fator crítico.

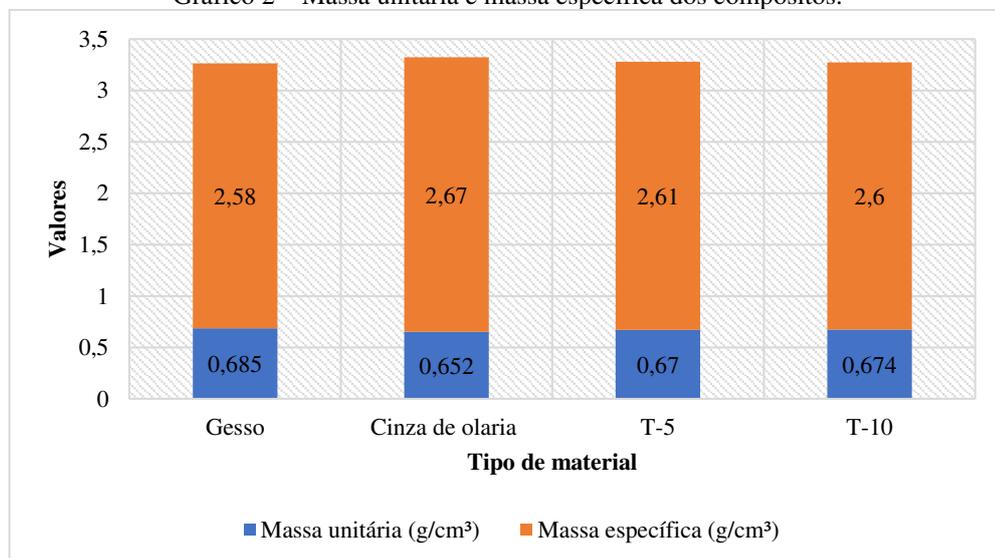
O traço T-5 apresentou uma massa específica de  $2,61 \text{ g/cm}^3$ , ligeiramente superior à do gesso puro. Isso indica que a adição de cinza de olaria ao gesso aumenta a densidade do material, o que pode sugerir uma redução na porosidade interna, contribuindo potencialmente para uma maior resistência mecânica em comparação ao gesso puro.

Já o traço T-10 apresentou uma massa específica de  $2,60 \text{ g/cm}^3$ , também superior à do gesso puro, mas levemente inferior à do T-5. Esse resultado indica que, embora a adição de mais cinza de olaria tenda a aumentar a densidade do composto, o efeito não é linear e pode depender de outros fatores, como a distribuição e a interação entre as partículas dos componentes.

A maior massa específica da cinza de olaria sugere que suas partículas são constituídas por materiais mais densos ou possuem menos porosidade interna em comparação com o gesso. Isso pode implicar em uma maior resistência mecânica quando a cinza de olaria é incorporada ao gesso.

A diferença observada entre a massa unitária e a massa específica de ambos os materiais e suas incorporações destaca a presença significativa de vazios entre as partículas. Esse comportamento é comum em materiais pulverulentos. Para o gesso, essa diferença pode ser menos pronunciada, indicando uma melhor compatibilidade em misturas. Já para a cinza de olaria e suas porcentagens no gesso, a maior diferença sugere uma estrutura granular que, embora densa, ocupa um maior volume aparente, influenciando a porosidade final da mistura. Essa comparação é demonstrada no gráfico 2.

Gráfico 2 – Massa unitária e massa específica dos compósitos.



Fonte: Autoria própria (2024).

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO FRESCO (PASTA)

A caracterização do estado fresco (pasta) é fundamental para determinar as propriedades de trabalhabilidade e o comportamento inicial das misturas de gesso com cinzas de olaria.

### 5.2.1 Consistência normal

O ensaio de consistência normal, busca determinar a proporção ideal de água para gesso (relação a/g) necessária para obter uma pasta com a trabalhabilidade adequada. Essa relação é crucial para garantir que ela tenha a fluidez necessária para ser moldada e aplicada com eficácia, sem ser excessivamente líquida ou seca. Os valores provenientes desse ensaio estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Consistência normal.

Traço	Relação a/g da consistência normal
Gesso	0,42
Adição 5%	0,425
Adição 10%	0,43

Fonte: Autoria própria (2024).

A relação a/g de 0,42 para o gesso puro reflete um valor típico para esse material, garantindo uma consistência normal ideal. O valor sugere que a maioria dos gessos utilizados na construção civil apresentam uma relação a/g entre 0,40 e 0,45, dependendo da finura e da composição química do gesso. Essa proporção proporciona uma pasta com boas propriedades de manuseio e aplicação, além de garantir uma resistência mecânica adequada após o endurecimento (Ferreira, 2017).

A adição de 5% da cinza ao gesso resulta em um pequeno aumento na relação a/g para 0,425. Esse incremento sugere que a adição altera a microestrutura da pasta, possivelmente aumentando a demanda por água para manter a mesma consistência. Esse comportamento pode ser associado à maior absorção de água pelo material adicionado, por ser mais fino, ou à modificação da distribuição de partículas dentro da matriz de gesso.

Com a adição de 10% de material, a relação a/g aumenta para 0,43. Esse aumento indica que a adição está influenciando de forma mais significativa a necessidade de água da mistura, sugerindo que o material adicionado não apenas absorve mais água, mas também modifica as interações entre as partículas de gesso. Este efeito é amplamente documentado em pesquisas que investigam a incorporação de materiais alternativos em gesso, onde a adição de substâncias como resíduos industriais ou aditivos químicos tende a aumentar a demanda por água para manter a trabalhabilidade desejada (Ferreira, 2017).

Implicações na engenharia de materiais:

- Resistência mecânica e durabilidade: o aumento da relação a/g devido à adição de materiais pode ter impactos adversos na resistência mecânica do gesso endurecido. A maior quantidade de água necessária resulta em uma matriz mais porosa após a evaporação da água, o que pode comprometer a resistência à compressão e à tração do material final. Esse efeito

é corroborado por diversas pesquisas que mostram uma correlação direta entre a porosidade aumentada e a redução da resistência mecânica em materiais à base de gesso;

- Tempo de pega: outro aspecto crítico influenciado pela relação a/g é o tempo de pega. Uma relação a/g mais elevada tende a modificar o processo de cristalização do gesso, resultando em um tempo de pega diferente. Embora isso possa ter benefícios para aplicações que exigem mais tempo para o ajuste e moldagem, pode ser prejudicial para projetos que necessitam de um endurecimento rápido, caso o tempo de pega seja retardado. Essa relação entre a quantidade de água e o tempo de pega é amplamente discutida na literatura, com recomendações para ajustar a relação a/g dependendo das necessidades específicas da aplicação;

- Sustentabilidade e aplicabilidade: a possibilidade de incorporar adições ao gesso para modificar suas propriedades tem implicações significativas na sustentabilidade. A utilização de resíduos industriais ou materiais reciclados como aditivos não apenas reduz a dependência de matérias-primas virgens, mas também contribui para a economia circular na construção civil. No entanto, é essencial garantir que as propriedades do gesso modificado atendam às exigências normativas e de desempenho. Estudos mostram que a integração de aditivos precisa ser cuidadosamente balanceada para evitar comprometer a qualidade do produto final.

Os resultados obtidos mostram que a adição de materiais ao gesso afeta significativamente a relação a/g necessária para manter a consistência normal, com implicações diretas nas propriedades mecânicas e no tempo de pega. Embora essas modificações possam ser vantajosas em determinadas situações, é necessário um ajuste preciso da relação a/g para garantir que o gesso modificado atenda aos requisitos específicos de cada aplicação. Pesquisas futuras devem focar em otimizar a formulação dessas misturas para maximizar os benefícios das adições sem comprometer a qualidade e o desempenho do gesso.

### *5.2.2 Tempo de pega*

Os tempos de início e fim de pega dos gessos foram determinados de acordo com o método estabelecido pela NBR 12128 (2019b), utilizando pastas em consistência normal e uma relação água/gesso de 0,42, para o gesso sem adição. 0,425, para o gesso com 5% de cinzas. 0,43, para o gesso com 10% de cinzas. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

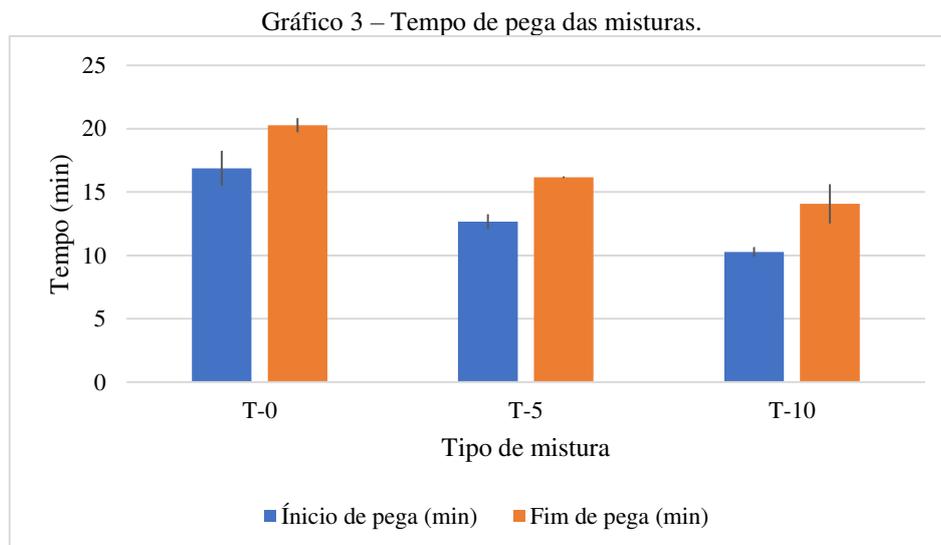
Tabela 5 – Tempo de pega para as misturas.

Tipo de mistura	Início de pega (min)	Fim de pega (min)
Gesso	16,88 ± 1,38	20,28 ± 0,56
5% de cinzas no gesso	12,67 ± 0,58	16,17 ± 0,07
10% de cinzas no gesso	10,28 ± 0,38	14,07 ± 1,55

Fonte: Autoria própria (2024).

A análise dos tempos de início e fim de pega para as diferentes misturas de gesso, conforme apresentados na tabela, revela informações significativas quanto à influência da adição de cinzas no comportamento do gesso em termos de sua reatividade e tempo de endurecimento.

De acordo com a NBR 12128 (ABNT, 2019b), que normatiza a determinação das propriedades físicas da pasta de gesso para construção civil, o tempo de início de pega para gesso puro foi determinado em 16,88 minutos, com desvio padrão de  $\pm 1,38$  minutos. O fim de pega foi estabelecido em 20,28 minutos, com desvio padrão de  $\pm 0,56$  minutos. Esses valores indicam que o gesso puro possui um intervalo de endurecimento de aproximadamente 3,4 minutos, como apresentado no gráfico de tendência, Gráfico 3.



Fonte: Autoria própria (2024).

Ao incorporar 5% de cinzas ao gesso, observa-se uma redução tanto no tempo de início de pega ( $12,67 \pm 0,58$ ) minutos quanto no tempo de fim de pega ( $16,17 \pm 0,07$ ) minutos. Essa redução significativa, quando comparada ao gesso puro, pode ser atribuída à presença de partículas de cinza que potencialmente aceleram as reações de hidratação, diminuindo assim o tempo necessário para que a mistura atinja o estado de rigidez inicial e final.

Essa tendência de aceleração é ainda mais pronunciada quando 10% de cinzas são adicionados. O tempo de início de pega é de ( $10,28 \pm 0,38$ ) minutos, e o tempo de fim de pega

é de  $(14,07 \pm 1,55)$  minutos, mostrando uma redução ainda maior no tempo de endurecimento. Isso sugere que a presença de uma maior quantidade de cinzas pode estar atuando como um catalisador nas reações químicas do gesso, promovendo uma hidratação mais rápida e, conseqüentemente, uma cristalização mais precoce.

Portanto, com base nos dados e conforme a NBR 12128 (ABNT, 2019b), é evidente que a incorporação de cinzas modifica significativamente as propriedades de pega do gesso, acelerando o processo de endurecimento, o que pode ser vantajoso em situações em que tempos de desforma ou secagem mais curtos são desejáveis. No entanto, essa aceleração deve ser cuidadosamente considerada em projetos específicos para evitar possíveis problemas associados ao tempo reduzido de trabalhabilidade da pasta.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS E DO ESTADO ENDURECIDO

A caracterização das placas e do estado endurecido visa avaliar as propriedades mecânicas e a resistência final das placas de gesso com adição de cinzas de olaria.

#### 5.3.1 Ensaio de dureza

Os resultados do ensaio de dureza Shore C indicam uma clara tendência de aumento na dureza dos corpos de prova conforme se incrementa a porcentagem de cinza de olarias no gesso. O gesso sem adição de cinza (T-0) apresentou uma média de dureza de 82,8 u.s.c., com uma variação significativa entre as leituras individuais, indicando possível heterogeneidade na mistura ou na preparação dos corpos de prova. Com a adição de 5% de cinza (T-5), houve um aumento notável na dureza média, alcançando 91,3 u.s.c., sugerindo que a cinza contribui para uma matriz mais rígida e menos suscetível à deformação.

A dispersão dos valores individuais de dureza também diminuiu em comparação ao T-0, o que pode indicar uma melhoria na uniformidade estrutural do material com a adição de cinza. Podemos verificar os valores analisando a Tabela 6, onde estão indicados os valores de médias aritméticas das medições das faces de 5 corpos de prova buscando uma menor dispersão de valores.

Tabela 6 – Dureza das misturas no estado endurecido.

Traço	1°	2°	3°	4°	5°	Média (u.s.c.)
T-0	86,5	84,8	83,8	80,2	78,5	82,8
T-5	92,8	93	91,7	90,2	89	91,3
T-10	96,7	97,2	89,2	93,3	94,5	94,2

Fonte: Autoria própria (2024).

No caso do T-10, que contém 10% de cinza, a dureza média subiu para 94,2 u.s.c., mostrando um incremento adicional em relação ao T-5. Essa tendência sugere que o aumento do teor de cinza está diretamente relacionado ao endurecimento do material. Além disso, a menor variação entre os valores de dureza no T-10 em relação às outras amostras reforça a ideia de que a incorporação de cinza não só aumenta a dureza, mas também contribui para uma densificação da matriz por diminuição da porosidade.

### 5.3.2 Resistência à compressão

A média dos resultados da resistência à compressão dos corpos de prova demonstram um aumento consistente com a adição de cinza de olarias ao gesso. O traço T-0, que representa o gesso sem adições, apresentou uma resistência de 7,68 MPa, suportando uma carga de 12.298,38 N. Quando 5% de cinza foi incorporado (T-5), houve um aumento na resistência para 9,01 MPa, o que corresponde a uma carga de 14.415,78 N, valores expressados na Tabela 7. Esse acréscimo na resistência pode ser atribuído ao efeito de preenchimento das partículas de cinza, que melhoram a integridade do material e sua capacidade de resistir à compressão.

Tabela 7 – Resistência à compressão dos corpos de provas em diferentes misturas.

<b>Traço</b>	<b>Carga (N)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>
<b>T-0</b>	12298,38	7,68
<b>T-5</b>	14415,78	9,01
<b>T-10</b>	15036,54	9,40

Fonte: Autoria própria (2024).

A análise do traço T-10, com 10% de cinza, revelou uma resistência à compressão de 9,40 MPa, suportando uma carga de 15.036,54 N. Esse aumento, embora menos expressivo em comparação ao salto observado de T-0 para T-5, sugere que a adição de cinza continua a fortalecer a mistura, mas com um efeito incremental que tende a estabilizar. Esse comportamento indica que, enquanto a adição de cinza de olarias contribui para um aumento inicial significativo na resistência, há um ponto em que os benefícios se tornam menos pronunciados, possivelmente devido à saturação da matriz de gesso. Esses resultados ressaltam a importância de balancear a proporção de aditivos para otimizar a resistência mecânica sem comprometer outras propriedades do material. A NBR 13207 (ABNT, 2017b) não avalia a resistência à compressão do gesso para ser aplicado na construção civil.

### 5.3.3 Determinação da massa das placas

Os resultados indicam que a incorporação de cinza de olarias na produção de placas de gesso não compromete a propriedades de massa das placas, permitindo que elas se mantenham na classificação de pesadas conforme as normas vigentes. Esses resultados são descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Massa das placas.

T-0	T-5	T-10
6,40 kg	6,42 kg	6,59 kg

Fonte: Autoria própria (2024).

Considerando a norma de requisitos físicos e mecânicos para placas de gesso para forro NBR 16382 (ABNT, 2015), observa-se que a massa média das placas de gesso puro foi de 6,40kg, com os traços T-5 e T-10 tendo 6,42 kg e 6,59 kg, respectivamente. A elevação da massa nas placas com adições de cinza sugere uma densidade maior do material como confirmado no ensaio de massa específica, porém se mantendo dentro da faixa de massa especificada para a categoria pesada, acima de 4,70 kg para placas com dimensões 60x60 cm. Portanto, a adição de cinza se revela uma estratégia viável, preservando a aplicabilidade e o desempenho das placas em forros autoportantes, atendendo aos requisitos normativos.

#### 5.3.4 Medida dos lados das placas

Além de manter as dimensões dentro dos padrões exigidos, as placas T-0, T-5 e T-10 mostraram consistência na espessura e na planicidade, garantindo a uniformidade do material. A manutenção da resistência mecânica e a ausência de deformações indicam que a incorporação de cinza de olarias não compromete a integridade das placas, preservando sua aplicabilidade para uso em forros autoportantes. Verificamos esses fatos observando a média dos lados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Lados das placas.

Traço	L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	L <sub>4</sub> (mm)
T-0	603,8	602,5	603,8	607,5
T-5	603,75	603,75	603,75	605
T-10	606,25	603,75	606,25	605

Fonte: Autoria própria.

As dimensões médias das placas T-0, T-5 e T-10 se mantiveram dentro dos limites normativos estabelecidos para placas de 60 cm, conforme a NBR 16382 (ABNT, 2015). As medidas de L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub> apresentaram variações mínimas e se enquadraram na tolerância, indicando que a incorporação de cinza não afetou significativamente as dimensões das placas, assegurando sua conformidade com os padrões de qualidade exigidos.

### 5.3.5 Medida da diagonal das placas

As medições das diagonais D1 e D2 apresentaram valores constantes de 850,0 mm em todas as condições, com uma diferença entre diagonais de 0,0 mm, como estão demonstrados na Tabela 10. Isso indica que as placas mantiveram sua estabilidade dimensional independentemente da adição de cinzas.

Tabela 10 – Diagonais das placas.

Traço	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	Diferença na diagonal (mm)
T-0	850	850	0,0
T-5	850	850	0,0
T-10	850	850	0,0

Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com a norma NBR 16382 (ABNT, 2015), a diferença máxima permitida entre diagonais é de  $\leq 1,0$  mm. Os resultados obtidos, com diferença de 0,0 mm, mostram que tanto as placas de gesso puras (T-0) quanto as com adição de cinzas (T-5 e T-10) estão em conformidade com os requisitos normativos, sugerindo que a adição de cinzas não compromete a integridade dimensional das placas para uso em forros autoportantes.

### 5.3.6 Determinação da deflexão da diagonal

A avaliação da deflexão diagonal (Df) das placas de gesso, com base nas medições realizadas, oferece considerações significativas sobre a estabilidade dimensional em diferentes formulações. A deflexão diagonal média para T-0 variou entre 0,209 mm e 0,407 mm, para T-5 entre 0,396 mm e 0,433 mm, e para T-10 entre 0,658 mm e 0,842 mm, como apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Deflexão diagonal das placas.

Medições	T-0			T-5			T-10		
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 1	Placa 2	Placa 3
1ª medição	0,610	0,820	0,325	0,815	0,875	0,700	1,500	1,300	1,700
2ª medição	0,710	0,815	0,420	0,975	0,715	0,785	1,300	1,350	1,700
3ª medição	0,685	0,805	0,510	0,805	0,887	0,890	1,350	1,300	1,700
Média (mm)	0,668	0,813	0,418	0,865	0,826	0,792	1,383	1,317	1,683
Valor da deflexão (mm)	0,334	0,407	0,209	0,433	0,413	0,396	0,692	0,658	0,842

Fonte: Autoria própria (2024).

Observa-se um aumento na deflexão com a maior adição de cinzas, o que sugere uma relação direta entre o teor de cinzas e as saliências das placas. De acordo com o requisito normativo de que a Df deve no máximo 1,0 mm, os resultados obtidos demonstram que todas

as formulações, mesmo com a adição de até 10% de cinzas, mantiveram-se dentro do limite estabelecido. Esse comportamento indica que, apesar da maior deflexão observada com o aumento da adição de cinzas, as placas de gesso permanecem estruturalmente adequadas para uso.

### 5.3.7 Determinação da folga dos encaixes

Os dados da folga nos encaixes revelaram que no traço T-0 apresentou uma folga de 0,62 mm, enquanto o T-5 resultou em uma folga ligeiramente maior de 0,68 mm. O maior valor foi observado no traço T-10, que registrou 0,75 mm de folga. Esses resultados indicam que a adição de cinzas de olaria ao gesso causa um aumento discreto na folga dos encaixes, mas todos os valores permanecem dentro de uma faixa controlada e consistente. Esses valores estão documentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Folga nos encaixes.

T-0	T-5	T-10
0,62 mm	0,68 mm	0,75 mm

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao comparar os resultados obtidos com o requisito de folga máxima nos encaixes, que é de  $\leq 0,8$  mm, verifica-se que todos os traços analisados atendem ao critério estabelecido. O traço T-0, sem adição de cinzas, já se encontra confortavelmente abaixo do limite permitido, enquanto os traços T-5 e T-10, apesar do leve aumento na folga, também permanecem dentro dos padrões aceitáveis.

### 5.3.8 Determinação da espessura e largura do reforço lateral

A análise dos resultados, apresentados na Tabela 13, indica que todas os traços cumprem plenamente os critérios estabelecidos para a espessura do reforço lateral, que deve ser de 25 mm com uma tolerância de  $\pm 5,0$  mm. As espessuras médias registradas, variando entre 27,00 mm e 27,12 mm, mostram uma uniformidade notável, sugerindo que a incorporação de cinza, seja em 5% ou 10%, não afetou negativamente essa dimensão de forma crítica. Essa consistência é fundamental, pois garante que o material possui a espessura necessária para assegurar resistência e durabilidade adequadas em aplicações. O controle eficiente das variáveis de produção foi alcançado, mantendo a integridade dimensional mesmo com as modificações na composição do gesso.

Tabela 13 – Espessura e largura do reforço lateral.

Traço	Espessura (mm)	Largura (mm)
T-0	27,00	37,75
T-5	27,12	40,00
T-10	27,12	40,25

Fonte: Autoria própria (2024).

Em relação à largura do reforço lateral, os resultados também foram satisfatórios, com todas as amostras superando confortavelmente o requisito mínimo de 20 mm. As larguras médias variaram entre 37,75 mm e 40,25 mm, demonstrando uma tendência de aumento correlacionada à maior adição de cinza. Este incremento na largura, observado nas amostras T-5 e T-10 em comparação à T-0, pode sugerir que a presença de cinza contribui para uma melhor estabilidade dimensional durante o processo de moldagem, potencialmente melhorando a trabalhabilidade da mistura.

### 5.3.9 Determinação da espessura na região central

Obtidos as dimensões médias das espessuras concluímos que os traços atenderam ao requisito mínimo de espessura na região central das placas, que deve ser maior ou igual a 10 mm. Especificamente, o traço T-0, composta por gesso puro, registrou uma espessura de 10,02 mm, apenas ligeiramente acima do limite exigido. Já as amostras T-5 e T-10, contendo 5% e 10% de cinza, apresentaram espessuras de 10,12 mm e 11,00 mm, respectivamente. Esse incremento na espessura observado com o aumento da adição de cinza sugere que a presença do material aditivo influenciou positivamente nessa característica das placas. Isso pode estar relacionado à formação de uma microestrutura mais densa, que minimiza a retração durante o processo de cura, resultando em uma espessura final mais elevada e consistente. Dados estão ilustrados na Tabela 14.

Tabela 14 – Determinação da espessura na região das placas.

T-0	T-5	T-10
10,02 mm	10,12 mm	11,00 mm

Fonte: Autoria própria (2024).

Do ponto de vista estrutural, a espessura central adequada é essencial para garantir a integridade mecânica das placas, especialmente em contextos em que elas estão sujeitas a cargas distribuídas ou pressões pontuais. O aumento observado na espessura do traço T-10, em particular, pode indicar que a adição de 10% de cinza melhora a resistência do material contra deformações e falhas. No entanto, essa variação de espessura deve ser analisada com cautela. Embora o incremento seja benéfico, ele deve ser rigorosamente controlado para evitar irregularidades que possam comprometer o desempenho das placas em uso prolongado.

### 5.3.10 Determinação da massa específica da placa

Os maiores valores de massa específica das placas (Me), para as misturas de gesso e suas respectivas adições, conforme ensaios descritos na NBR 12775 (ABNT, 2018), revelou o impacto da adição de cinzas de olaria nas propriedades do material. Para o traço T-0, o maior valor registrado foi de 866,3 kg/m<sup>3</sup>. Com a inclusão de 5% de cinzas de olaria, a massa específica aumentou para 881,8 kg/m<sup>3</sup>, e com 10% de cinzas (T-10), atingiu 961,2 kg/m<sup>3</sup>, esses dados estão expostos na Tabela 15. Essa elevação na densidade sugere que as cinzas de olaria contribuem para a compactação do material.

Tabela 15 – Massa específica das placas.

Medições	T-0			T-5			T-10		
	1º corte	2º corte	3º corte	1º corte	2º corte	3º corte	1º corte	2º corte	3º corte
Média (m)	0,013	0,014	0,011	0,014	0,014	0,012	0,013	0,011	0,012
Massa (kg)	0,073	0,077	0,061	0,080	0,076	0,070	0,078	0,065	0,073
Volume (m <sup>3</sup> )	8,57x10 <sup>-5</sup>	9,13x10 <sup>-5</sup>	7,04x10 <sup>-5</sup>	9,0 x10 <sup>-5</sup>	8,80x10 <sup>-5</sup>	7,96x10 <sup>-5</sup>	8,16x10 <sup>-5</sup>	7,10x10 <sup>-5</sup>	7,618 x10 <sup>-5</sup>
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	857,6	845,6	866,3	881,8	868,8	855,7	943,4	919,4	961,2

Fonte: Autoria própria (2024).

Essa tendência é particularmente significativa para a pesquisa, pois sugere que as cinzas de olaria, quando adicionadas ao gesso, atuam como um material de enchimento que contribui para a compactação e aumento da densidade. Contudo, é crucial garantir que essa maior densidade seja distribuída uniformemente durante a produção para que as placas resultantes mantenham uma performance confiável e atendam aos requisitos da norma.

### 5.3.11 Determinação da resistência à flexão

A análise da resistência à flexão das placas de gesso revela uma tendência de melhoria nas propriedades mecânicas com a adição de cinza de olarias. Observa-se que, à medida que a quantidade de cinza aumenta, a resistência das placas também se eleva, o que demonstra a influência positiva deste aditivo na performance estrutural das placas. Essa tendência sugere que a incorporação de cinza reforça a matriz de gesso, resultando em placas mais resistentes à flexão. Esses dados estão descritos na Tabela 16.

Tabela 16 – Resistência à flexão das placas.

Traço	Carga (N)	Resistência (MPa)
T-0	55,6	0,65
T-5	43,54	1,08

T-10	56,34	1,40
------	-------	------

Fonte: Autoria própria (2024).

Especificamente, o traço T-0 apresentou uma resistência à flexão de 0,65 MPa. Com a adição de 5% de cinza, a resistência aumentou para 1,08 MPa, embora a carga suportada tenha sido ligeiramente menor, o que pode indicar uma redistribuição das tensões internas. No traço T-10, com 10% de cinza, a resistência à flexão atingiu 1,40 MPa, a maior entre os resultados dos ensaios nas placas. Esses resultados evidenciam que a cinza de olarias, em proporções adequadas, pode atuar como um agente de reforço eficaz, elevando significativamente a capacidade das placas de gesso de resistir a tensões de flexão.

### 5.3.12 Determinação da resistência do elemento de fixação

Os resultados do ensaio de resistência do elemento de fixação indicam que o traço T-5 suportou a maior carga de 136,1 kgf, seguido pelo T-10 com 122,6 kg e pelo T-0 com 98,3 kg. Isso mostra que a adição de cinza de olaria, especialmente na proporção de 5%, contribuiu para uma melhoria significativa na resistência do elemento de fixação, como seguem descritos na Tabela 17.

Tabela 17 – Resistência do elemento de fixação.

Traço	Carga (Kgf)
T-0	98,3
T-5	136,1
T-10	122,6

Fonte: Autoria própria (2024).

Embora o traço T-5 tenha apresentado uma resistência superior, o desempenho inferior do T-10 sugere que o excesso de cinza pode comprometer a interação entre o gesso e o reforço metálico, afetando a coesão da matriz. O excesso de partículas de cinza pode interferir na ligação adequada entre o gesso e os fios de aço, resultando em uma redução da capacidade de carga, mesmo com a presença do reforço metálico. Esses resultados indicam que a otimização da quantidade de cinza de olaria é essencial para garantir que o reforço de aço funcione de maneira eficaz, maximizando a resistência mecânica do material.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, é possível elaborar uma conclusão mais detalhada e abrangente acerca dos efeitos da incorporação de cinzas de olarias ao gesso. A análise dos dados revela que a adição de cinza, tanto em 5% (T-5) quanto em 10% (T-10), promove melhorias significativas nas propriedades mecânicas do gesso, indicando uma potencial otimização do material para aplicações estruturais e não estruturais na construção civil.

A resistência à compressão das amostras aumentou de maneira expressiva com a adição de cinza, o que pode ser atribuído à melhoria da coesão interna da matriz de gesso. A cinza de olarias, composta principalmente por sílica e alumina, que é responsável pelo aumento da resistência. Este fenômeno é crucial para o desempenho do gesso em situações de carregamento, onde a resistência à compressão é um parâmetro determinante.

Além disso, a resistência à flexão também foi significativamente aprimorada com a incorporação de cinza. Este resultado é particularmente relevante, pois a flexão é um dos principais modos de falha em placas de gesso, especialmente em aplicações onde o material está sujeito a esforços laterais ou ao seu próprio peso. A maior resistência à flexão das amostras T-5 e T-10 indica que o gesso modificado é mais resistente à formação de fissuras e falhas sob carga, prolongando a vida útil do material em aplicações reais.

A estabilidade dimensional das amostras, especialmente no que diz respeito ao reforço lateral, foi mantida, mesmo com a adição de cinza. Este resultado é significativo, pois indica que a cinza não compromete as características geométricas do gesso, um aspecto essencial para a produção de componentes modulares que precisam encaixar-se perfeitamente em sistemas construtivos pré-existentes ou em novos projetos.

Do ponto de vista ambiental e de sustentabilidade, a utilização de cinza de olarias no gesso oferece benefícios adicionais. A cinza é um subproduto da produção de cerâmica, e sua incorporação em materiais de construção contribui para a redução do descarte de resíduos industriais, promovendo a economia circular e a sustentabilidade no setor da construção. A substituição parcial do gesso puro por cinza de olarias não só melhora as propriedades do material, mas também reduz a demanda por recursos naturais virgens, como o gesso mineral, preservando recursos e diminuindo o impacto ambiental da construção civil.

Em termos de aplicabilidade prática, os resultados sugerem que o gesso com adição de cinza de olarias pode ser utilizado em uma ampla gama de aplicações, desde revestimentos

internos e placas de *drywall* até componentes estruturais leves, onde a resistência mecânica é um critério importante. No entanto, para maximizar os benefícios dessa adição, recomenda-se a realização de estudos complementares que explorem a variabilidade das cinzas de diferentes fontes, bem como a otimização das proporções de adição em função de requisitos específicos de desempenho.

A adoção da prática de incorporação de cinza de olarias ao gesso no Brasil apresenta tanto oportunidades quanto desafios significativos. Do lado das oportunidades, destaca-se a contribuição para a sustentabilidade ambiental, com a promoção da economia circular ao reutilizar resíduos industriais e reduzir a extração de matérias-primas naturais. Além disso, a melhoria das propriedades mecânicas do gesso, como demonstrado neste estudo, oferece um material mais resistente e energeticamente eficiente.

Isso pode posicionar as empresas brasileiras como inovadoras no mercado global, aumentando a competitividade por meio de produtos diferenciados e potencialmente mais econômicos. No entanto, um desafio crucial é garantir a uniformidade e a qualidade das cinzas utilizadas, já que a variabilidade na composição dos resíduos pode afetar a consistência do material final, exigindo um controle rigoroso de qualidade para assegurar que as propriedades mecânicas desejadas sejam mantidas em todas as aplicações.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, E. G. **Produção de placas de vedação em gesso com incorporação de rejeitos**. 2017. 37 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/502>. Acesso em: 15 set. 2023.

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 12775**: Placas lisas de gesso para forro autoportante — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, jun. 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 13207**: Gesso para construção civil — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, jun. 2017b.

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 16382**. Placas de gesso para forro – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 2015.

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

BESERRA, L. G. **Avaliação da durabilidade e das propriedades mecânicas de argamassa com baixa porosidade incorporada com cinza de olaria**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – IFPB, Cajazeiras-PB, 2023. Disponível: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3116>. Acesso em: 13 set. 2023.

BUI, D. V.; COLIN, M.; VENTURA, F.; ROUSSEL, L.; GEGOUT, P. Use of fly ash for the design of sustainable UHPC mixes. **Construction and Building Materials**, 186, 1183-1192. 2018. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/search?q=se%20of%20fly%20ash%20for%20the%20design%20of%20sustainable%20UHPC%20mixes>. Acesso em: 08 abr. 2024.

COELHO, B. **Um guia completo sobre todos os tipos: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos.** 2019. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/tipos-de-pesquisa/>. Acesso em: 5 nov. 2023.

CUNHA, T. A. **Viabilidade da projeção de gesso na construção civil, estudo de caso: edifício d'ouro Tambaú Residence Club.** 2015. 71. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UEP, 2015.

DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; RABELO, O. S.; QUEIRÓZ, H. S. Ecoinovações na indústria da construção civil: um olhar para o Estado de Mato Grosso, Brasil. **Cadernos de Prospecção**, v. 15, n. 4, 2023. Disponível: <https://doi.org/10.9771/cp.v15i4.43099>. Acesso em: 14 set. 2023.

FERREIRA, F. C. Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no polo gesseiro do araripe. **Dissertação**, Recife, 2017. Disponível: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/26315>. Acesso em: 13 set. 2023.

GRIEPP, L. P. **Possibilidade de incorporação de cinza volante e cinza de casca de arroz na produção de Engineered Cementitious Composites.** 2014. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Pelotas. Disponível em <https://repositorio.ufpel.edu.br/handle/prefix/8759>. Acesso em: 14 abr. 2024.

GYPLAC. **Drywall: tudo que você precisa saber.** 2023. Disponível em <https://www.placo.com.br/>. Acesso em: 28 abr. 2024.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-015-0368-9>. Acesso em: 11 abr. 2024.

KNAUF GYPSUM DO BRASIL. **Placas de gesso para drywall.** 2023. Disponível em <https://knauf.com.br/>. Acesso em: 28 abr. 2024.

KOHONEN, E. Desenvolvendo líderes globais através de atribuições internacionais: uma perspectiva de construção de identidade. **Revisão de Pessoal**, v. 34, n. 1, p. 22-36, 2005. Disponível: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/00483480510571860/full/html>. Acesso em: 15 set. 2023.

LIU, M.; SABERIAN, M.; LI, J.; ZHU, J.; PERERA, S. T. A. M.; ROYCHAND, R.; TAJADDINI, A. Evaluation of brown coal fly ash for stabilising expansive clay subgrade: a sustainable solution for pavement construction. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 204, 2024, ISSN 0921-3449 Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107533>. Acesso em 14 abr. 2024.

LOPES, S. M. de O. **Conceção e produção de placas de gesso laminado.** 2012. Relatório de Estágio (Mestrado em Tecnologia Química) – Instituto Politécnico de Tomar, Tomar, Portugal, 2012. Disponível: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/5834>. Acesso em: 12 set. 2023.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo. 1998.

MELO, A. L. R.; FERREIRA, M. L. Utilização de resíduos industriais na construção civil: uma revisão bibliográfica. **Engenharia Sciences**, v. 3, n. 5, p. 1-14, 2023 Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/revistaengsciences/article/view/13736/12869>. Acesso em: 14 set. 2023.

MELO, M. A.; SOUZA, A. F. **Relação entre o módulo de finura e as propriedades do gesso para revestimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA CIVIL, Anais [...], Natal, RN, 2022.

NEVES, R. C.; LIMA, V. P. Influência do tipo de fibra na resistência à compressão do gesso. **Revista Concreto e Construção**, v. 22, n. 3, p. 259-272, 2019. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rmat/a/PgsBkYBHkCdp9jx9gHhWvQb/abstract/?lang=en>. Acesso em 01 mar. 2024.

NEVES, R. C.; OLIVEIRA, A. A. Estudo comparativo da aplicação de gesso em placas e projetado. **Revista Engenharia Civil**, v. 23, n. 4, p. 567-578, 2020. Disponível em <https://www.scielo.br/j/cr/a/ZffLGz5j3KsHCYgFhRP6MmK/>. Acesso em 02 mar. 2024.

PEREIRA, A. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Santa Maria, RS: UFSM, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1). Acesso: 5 nov. 2023.

ROBINSON, G. Mercado global de construção crescerá US\$ 8 trilhões até 2030: impulsionado pela China, EUA e Índia. **Construção Global**, v. 44, p. 8-10, 2015. Disponível: [http://www.cvf.or.kr/uploads/bestpractice/GC2030\\_Press\\_Release.pdf](http://www.cvf.or.kr/uploads/bestpractice/GC2030_Press_Release.pdf). Acesso em: 14 set. 2023.

SANTOS, K. A.; ALMEIDA, J. C. Influência da granulometria do gesso na qualidade do acabamento superficial. **Revista Concreto e Construção**, v. 22, n. 1, p. 43-52, 2019. Disponível em <https://www.scielo.br/j/ac/a/RVTzhZFx69DBGnJX6Dctx5M/?lang=pt>. Acesso em 02 mar. 2024.

SANTOS, K. A.; PEREIRA, M. S. Efeito da adição de aditivos retardadores de pega na trabalhabilidade do gesso. **Revista Tecnológica**, v. 22, n. 2, p. 34-42, 2021. Disponível em <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/9103/2/arquivototal.pdf>. Acesso em 01 mar. 2024.

SILVA, A. J. C.; DELGADO, J. M. do P. Q.; AZEVEDO, A. A. C. Avaliação experimental dos fatores de influência na aderência de revestimentos de gesso em pasta. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 2, p. 349–357, p. 2021. Disponível em <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000200530>. Acesso em 05 mar. 2024.

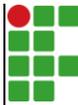
SILVA, C. A.; FREITAS, V. S. O gesso como material sustentável na construção civil. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 2, p. 243-255, 2018. Disponível em <https://www.scielo.br/j/asoc/a/j97w5cn7MfFnRHcJPDDkDDd/?lang=pt>. Acesso em 01 mar. 2024.

SILVA, C. A.; GOMES, A. R. Propriedades isolantes térmicas e acústicas de revestimentos de gesso com adição de fibras vegetais. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2022.

Disponível em <https://www.scielo.br/j/ac/a/PW9rMRVCbh4vBkWcqn4qQKC/>. Acesso em 05 mar. 2024.

SILVA, L. H. P.; TAMASHIRO, J. R.; ANTUNES, P. A.; PEREIRA, D. R. Caracterização da cinza de forno de olaria para aplicação em cimento pozolânico. **Matéria**, v. 25, Rio de Janeiro, 2020. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/3MDTy7D3fvKXmdpQz3bF5Dt/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 13 set. 2023.

SOARES, G. A. D. O portal de periódicos da capes: dados e pensamentos. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 1, n. 1, 2004. Disponível em: <https://rbpg.capes.gov.br/index.php/rbpg/article/view/8>. Acesso: 5 nov. 2023.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	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 Restrito

### Entrega de TCC

<b>Assunto:</b>	Entrega de TCC
<b>Assinado por:</b>	Armando Caldas
<b>Tipo do Documento:</b>	Dissertação
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Restrito
<b>Hipótese Legal:</b>	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
<b>Tipo da Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- José Armando de Caldas dos Santos, ALUNO (201922200020) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 20/09/2024 16:56:43.

Este documento foi armazenado no SUAP em 20/09/2024. 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: 1255570

Código de Autenticação: 514389949b

