



**UEPB**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE – CCTS – CAMPUS VIII

DEPARTAMENTO/COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDERSON CARLOS DE JESUS MEDEIROS

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ARGAMASSA COM A  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR BORRA DE CAFÉ**

**ARARUNA – PB  
2024**

ANDERSON CARLOS DE JESUS MEDEIROS

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ARGAMASSA COM A  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR BORRA DE CAFÉ**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia Civil da  
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Área de concentração:** Materiais de  
construção

**Orientador:** Prof. Dr. Leonardo Medeiros da Costa

**ARARUNA – PB  
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M528a Medeiros, Anderson Carlos de Jesus.  
Análise das propriedades mecânicas da argamassa com a substituição parcial do agregado miúdo por borra de café [manuscrito] / Anderson Carlos de Jesus Medeiros. - 2024.  
49 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. Leonardo Medeiros da Costa, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS. "

1. Materiais de construção. 2. Resíduo. 3. Argamassa. I.

Título

21. ed. CDD 691

ANDERSON CARLOS DE JESUS MEDEIROS

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ARGAMASSA COM A  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR BORRA DE CAFÉ**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia Civil da  
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Área de concentração:** Materiais de  
construção

Aprovada em: 26/06/2024.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Leonardo Medeiros da Costa (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba



Profa. Dra. Lays Raianne Azevedo da Costa  
Universidade Estadual da Paraíba



Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro  
Universidade Estadual da Paraíba

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe Aline de Jesus, que é tudo na minha vida e sempre fez o possível e impossível para que eu concluísse o curso.

A minha avó Francisca Maria, que apesar do Alzheimer, sei que ela sempre irá lembrar de mim.

Ao meu irmão Carlos Henrique, por cuidar da nossa família nos anos que passei longe.

Ao professor Leonardo, pela dedicação, orientação e confiança na minha pesquisa. És uma inspiração profissional.

Aos amigos de Araruna e Afogados, que sempre se fizeram presente.

A UFPE e UEPB, pelas disponibilidades dos laboratórios.

A professora Adriana, que além de contribuir para este trabalho como examinadora, contribuiu muito para minha formação.

A professora Lays, que se disponibilizou avaliar e contribuir com o trabalho.

## RESUMO

No setor da construção civil, a incorporação de resíduos em materiais cimentícios tem ganhado atenção significativa, devido aos seus benefícios econômicos e ambientais. A adição da borra de café (SCG) em argamassas e concretos, por exemplo, tem sido objeto de estudo em alguns trabalhos, e aspectos como aumento de resistência mecânica, redução da condutividade e da massa específica têm sido observados. Neste trabalho, foi desenvolvido um estudo sobre argamassas com borra de café em duas condições: seca em estufa a 60°C e *biochar* extraído do processo de pirólise a 350°C, substituindo parcialmente o agregado miúdo com 12,5%. Foram moldados 21 corpos de prova medindo 4 cm x 4 cm x 16 cm, com 7 traços diferentes, incluindo os de referência, e realizados ensaios de tração na flexão e compressão axial, além do índice de consistência. Para as argamassas com maiores teores de plastificante, a utilização da borra de café melhorou suas propriedades mecânicas, com aumento na tração à flexão de 39,33% e na compressão de 52,07%. No entanto, diminuiu a consistência da argamassa. Esses resultados mostraram que o resíduo borra de café pode ser usado como um recurso para melhorar as propriedades da argamassa, que é um material comumente utilizado na construção civil. Além disso, reduz os efeitos ambientais causados pelo descarte da borra de café (SCG) em aterros e reduz a utilização de recursos naturais, como a areia.

**Palavras-chave:** Materiais de Construção; Resíduo; Argamassa; Borra de café gasta (SCG).

## ABSTRACT

In the construction sector, the incorporation of waste into cementitious materials has gained significant attention, due to its economic and environmental benefits. The addition of coffee grounds (SCG) to mortars and concrete, for example, has been the subject of study in some studies, and aspects such as increased mechanical resistance, reduced conductivity and specific mass have been observed. In this work, a study was carried out on mortars with coffee grounds in two conditions: dry in an oven at 60°C and biochar extracted from the pyrolysis process at 350°C, partially replacing the fine aggregate with 12.5%. 21 specimens measuring 4 cm x 4 cm x 16 cm were molded, with 7 different traits, including the reference ones, and tensile tests were carried out in flexion and axial compression, in addition to the consistency index. For mortars with higher plasticizer contents, the use of coffee grounds improved their mechanical properties, with an increase in flexural traction of 39.33% and in compression of 52.07%. However, it reduced the consistency of the mortar. These results showed that coffee grounds residue can be used as a resource to improve the properties of mortar, which is a material commonly used in construction. Furthermore, it reduces the environmental effects caused by disposing of coffee grounds (SCG) in landfills and reduces the use of natural resources, such as sand.

**Keywords:** Construction Materials; Residue; Mortar; Spent coffee grounds (SCG).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Camadas do revestimento de argamassa da vedação vertical.....	14
Figura 2 - Processo de fabricação do cimento Portland.....	16
Figura 3 - Granulometria da areia.....	17
Figura 4 - Usos e propriedades da argamassa de revestimento.....	18
Figura 5 - Fluxograma do procedimento experimental.....	25
Figura 6 - Caracterização granulométrica da areia.....	27
Figura 7 - Borra de café antes e depois da estufa.....	28
Figura 8 - Processo de pirólise.....	28
Figura 9 - Borra de café antes e depois da pirólise.....	29
Figura 10 - Misturador mecânico Eberle SD 71B n° 0695.....	32
Figura 11 - Determinação do índice de consistência.....	32
Figura 12 - Corpos de prova nos moldes.....	33
Figura 13 - Corpos de prova desmoldados.....	34
Figura 14 - Ensaio de resistência à tração na flexão.....	35
Figura 15 - Ensaio de resistência à compressão.....	36
Figura 16 - Curva granulométrica da areia utilizada nas argamassas.....	37
Figura 17 - Curva granulométrica do SCG60.....	38
Figura 18 - Curva granulométrica do BBC.....	38
Figura 19 - Gráfico do índice de consistência.....	40
Figura 20 - Gráfico de tração na flexão.....	41
Figura 21 - Gráfico de resistência à compressão.....	42
Figura 22 - Deslocamento no ensaio de compressão do corpo de prova SCG60 <sub>A-0,48</sub> .....	43



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cimentos Portland normalizados.....	16
Tabela 2 - Funções e propriedades da argamassa baseado no seu estado. ....	19
Tabela 3 - Redução da condutividade térmica utilizando a borra de café na argamassa. ....	23
Tabela 4 - Dosagem experimental das argamassas, em massa.....	30
Tabela 5 - Índice de consistência das misturas.....	39
Tabela 6 - Resistência à tração na flexão .....	41
Tabela 7 - Resistência à compressão. ....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Água Potável
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento Portland
DP	Desvio-padrão
NBR	Norma Brasileira
SCG	Spent coffee grounds
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	13
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>Argamassa para revestimento</b> .....	14
<b>2.1.1</b>	<b>Componentes usuais da argamassa</b> .....	15
<b>2.1.1.1</b>	<b>Cimento Portland</b> .....	15
<b>2.1.1.2</b>	<b>Agregado Miúdo</b> .....	16
<b>2.1.1.3</b>	<b>Água potável</b> .....	17
<b>2.1.1.4</b>	<b>Aditivos</b> .....	18
<b>2.1.2</b>	<b>Propriedades da argamassa</b> .....	18
<b>2.1.2.1</b>	<b>Propriedades da argamassa no estado fresco</b> .....	19
<b>2.1.2.2</b>	<b>Propriedades da argamassa no estado endurecido</b> .....	21
<b>2.2</b>	<b>Borra de café</b> .....	23
<b>2.3</b>	<b>Biochar</b> .....	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	25
<b>3.1</b>	<b>Procedimento experimental</b> .....	25
<b>3.2</b>	<b>Materiais utilizados</b> .....	26
<b>3.2.1</b>	<b>Cimento Portland</b> .....	26
<b>3.2.2</b>	<b>Areia</b> .....	26
<b>3.2.3</b>	<b>Borra de café</b> .....	27
<b>3.2.3.1</b>	<b>Borra de café seca em estufa (SCG60)</b> .....	27
<b>3.2.3.2</b>	<b>Biochar da borra de café (BBC)</b> .....	28
<b>3.2.4</b>	<b>Aditivo plastificante</b> .....	29
<b>3.2.5</b>	<b>Água Potável</b> .....	29

<b>3.3</b>	<b>Definição dos traços</b> .....	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Preparo das amostras</b> .....	<b>31</b>
<b>3.5</b>	<b>Determinação do índice de consistência</b> .....	<b>32</b>
<b>3.6</b>	<b>Moldagem dos corpos de prova</b> .....	<b>33</b>
<b>3.7</b>	<b>Ensaio físico-mecânico</b> .....	<b>34</b>
<b>3.7.1</b>	<i>Determinação da resistência à tração na flexão</i> .....	<b>34</b>
<b>3.7.2</b>	<i>Determinação da resistência à compressão</i> .....	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Ensaio granulométrico</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Granulometria da areia</i> .....	<b>37</b>
<b>4.1.2</b>	<i>Granulometria do SCG60</i> .....	<b>37</b>
<b>4.1.3</b>	<i>Granulometria do BBC</i> .....	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>Índice de consistência das argamassas</b> .....	<b>39</b>
<b>4.3</b>	<b>Resistência à tração na flexão</b> .....	<b>40</b>
<b>4.4</b>	<b>Resistência à compressão</b> .....	<b>41</b>
<b>4.5</b>	<b>Deslocamento do corpo de prova</b> .....	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>5.1</b>	<b>Considerações finais</b> .....	<b>44</b>
<b>5.2</b>	<b>Sugestão de trabalhos futuros</b> .....	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No âmbito da construção civil, as pesquisas referentes a implementação de resíduos nos materiais cimentícios tem se destacado devido a sua importância econômica e ambiental. É notório que a exploração dos recursos da Terra nos últimos tempos tem sido extremamente insustentável. Esses recursos se tornarão inexistentes no futuro, se os padrões de consumo atuais não puderem mudar. A construção é um setor que enfrenta muitos problemas, especialmente devido à utilização de materiais feitos com matérias primas finitas (Kylili; Fokaides, 2017).

Com aproximadamente 2,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos produzidos nas cidades, essa quantidade crescente é um dos maiores desafios para a sociedade. Isso leva a preocupações sobre o descarte e tratamento adequado (ONU, 2024). No entanto, os resíduos podem ser utilizados para criação de novos produtos, o que coincide com o conceito geral de Economia Circular, ou seja, os materiais de descarte podem ser utilizados para fabricação de novos produtos (Global Waste Management Outlook, 2024). O uso de resíduos e a utilização de materiais e componentes de envelope verde podem ter grandes consequências financeiras e impactos ambientais positivos (Prada *et al.*, 2020).

O resíduo estudado é um orgânico doméstico, nomeadamente borra de café ou *spent coffee ground* (SCG), natural da marca brasileira Santa Clara. O consumo de café em 2022/23 foi aproximadamente 10,386 milhões de toneladas, e é uma das bebidas mais consumidas em todo o mundo, gerando assim uma quantidade extremamente alta de resíduo sólido. As exportações sul-americanas de café aumentaram significativamente no primeiro mês de 2024, alcançando 5,41 milhões de sacas. O Brasil liderou esse avanço notável, com um aumento de 27,7% nas suas exportações, que totalizaram 3,98 milhões de sacas (International Coffee Organization, 2024).

O *biochar*, um material rico em carbono com alta porosidade e baixa densidade, tem se mostrado eficaz na retenção de água, o que é crucial durante o processo de cura para prevenir a evaporação rápida e, conseqüentemente, a formação de trincas e fissuras. Além disso, a diversidade de biomassas que podem ser convertidas em *biochar* permite a exploração de diferentes composições químicas e características físicas, o que pode influenciar a performance do compósito cimentício (Gupta; Kua, 2017).

A utilização de um material que melhora a retenção de água devido suas propriedades porosas, como a borra de café e o *biochar* em argamassas, é uma estratégia inovadora para melhorar suas propriedades. Estudos tem destacado efeitos positivos nas propriedades dos materiais cimentícios, como o aumento de 29,3% na resistência à compressão do concreto,

substituindo 15% o agregado miúdo por *biochar* da borra de café a 350°C (Roychand *et al.*, 2023); maior resistência à compressão do concreto quando submetido a altas temperaturas, com a adição do *biochar* extraído da biomassa lenhosa a 500°C (Gupta *et al.*, 2020); redução da condutividade térmica em argamassas hidráulicas com substituição de 12,5% de agregado miúdo por SCG (Charai *et al.*, 2022; Saeli *et al.*, 2023), no entanto, o índice de consistência/trabalhabilidade das misturas apresentou valores abaixo do indicado pela NBR 16541 (ABNT, 2016).

A pesquisa sobre a incorporação da borra de café em argamassas é um avanço significativo na busca por materiais de construção mais sustentáveis e eficientes. Com a redução da condutividade térmica em argamassas analisada por Saeli *et al.* (2023), não há, até então, pesquisas brasileiras que deem continuidade e padronizem as misturas de acordo com as NBR's.

Neste sentido, vale uma análise de como substituir o SCG pelo agregado miúdo estando dentro dos padrões estabelecidos pelas normas brasileiras, de forma que não altere em grande escala as propriedades da argamassa e, se os resultados forem satisfatórios, sugere-se a realização de procedimentos experimentais para utilização como proteção passiva de estruturas de concreto armado quando submetido a altas temperaturas, ou seja, em situações de incêndio.

Este trabalho avaliou, por meio de uma análise experimental, argamassas com a aplicação da borra de café seca em estufa a 60°C (SCG60) e *biochar* da borra de café a 350°C (BBC) substituindo parcialmente o agregado miúdo, em diferentes misturas. Para tanto, a fim melhorar o índice de consistência, deixando igual ou próximo aos valores de espalhamento indicados pelas NBR 16541 (ABNT, 2016) e NBR 7215 (ABNT, 2019), optou-se pela utilização de aditivo plastificante. Por isso, este estudo objetivou em obter uma argamassa para revestimento sustentável e aplicável na construção civil.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo Geral***

Desenvolver um programa experimental, a fim de analisar e comparar as propriedades mecânicas da argamassa com a utilização da borra de café seca em estufa a 60° e o *biochar* da borra de café a 350°C.

### ***1.2.2 Objetivos Específicos***

- Padronizar as misturas com borra de café seca em estufa a 60°C com as normas brasileiras, utilizando Aditivo Plastificante;
- Analisar a influência na produção de argamassa com a substituição de 12,5% de agregado miúdo por *Biochar*, em massa; e
- Determinar o índice de consistência, resistência à tração na flexão e resistência à compressão.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

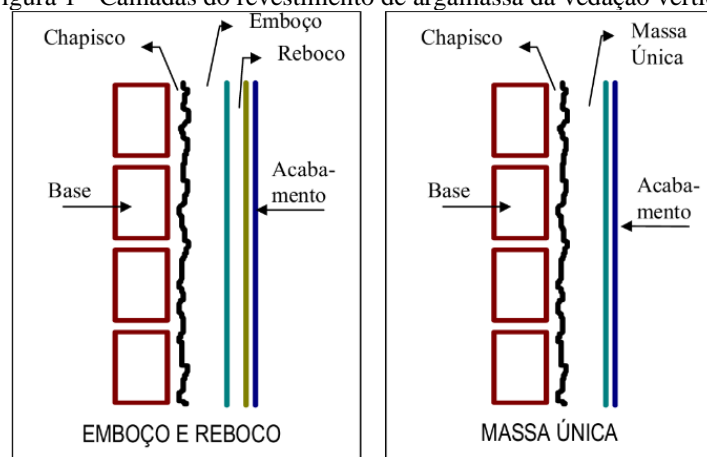
### 2.1 Argamassa para revestimento

A argamassa é um material fundamental na construção civil, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019), a mesma possui propriedades de aderência e endurecimento, sua composição básica envolve a mistura de cimento Portland, água e agregado miúdo (areia normalizada), contendo ou não aditivos e/ou adições de outros materiais. Esses componentes fornecem à argamassa propriedades físico-mecânicas adequadas para uma ampla gama de aplicações, quando combinados em proporções adequadas.

Argamassa de revestimento é utilizada para revestir paredes, muros e tetos, a qual tem função de proteger a alvenaria e a estrutura contra ações do intemperismo, isolamento térmico e acústico, estanqueidade da água, resistência ao fogo, entre outras funcionalidades. O revestimento pode ser de uma única camada (massa única) ou duas (emboço e reboco).

Os sistemas de revestimento de emboço e reboco têm uma distribuição de tarefas bem definida. O emboço serve principalmente como uma camada de nivelamento, fornecendo uma superfície lisa para a aplicação posterior. Enquanto isso, o reboco serve como a camada final, dando a superfície o aspecto estético desejado. Já o revestimento de massa única serve tanto como regularizador da base, quanto o acabamento final (Leone *et al.*, 1998). A Figura 1 ilustra os dois tipos de revestimentos abordados acima.

Figura 1 - Camadas do revestimento de argamassa da vedação vertical.



Fonte: Leone *et al.* (1998)



## **2.1.1 Componentes usuais da argamassa**

### *2.1.1.1 Cimento Portland*

Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin escolheu o nome "Portland", inspirado na semelhança do cimento com as rochas da ilha britânica de Portland. Aspdin queimou pedras calcárias e argila e se transformou em um pó fino que, depois de seco, tornou-se muito resistente à água e extremamente duro (Taylor, 1978).

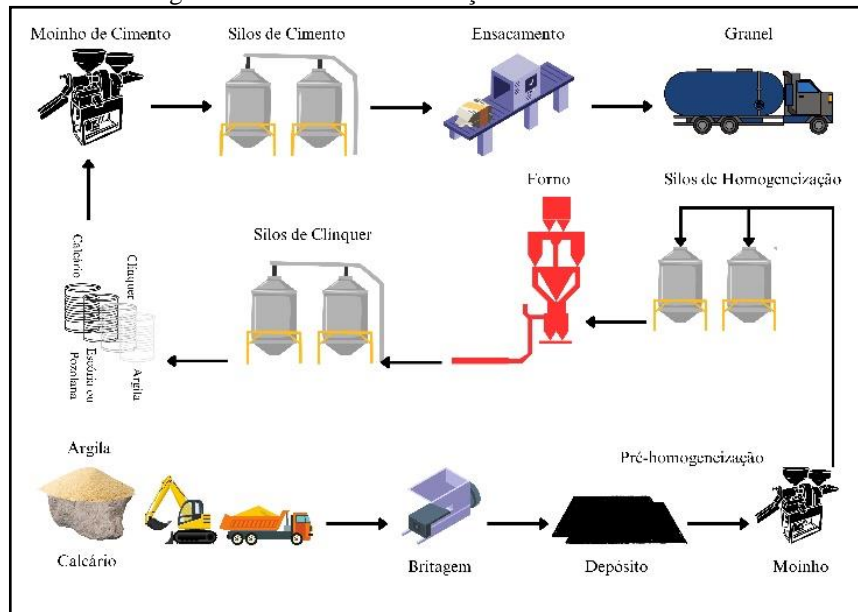
A NBR 16697 (ABNT, 2018) define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico, obtido pela moagem de clínquer Portland, onde ocorre a adição de sulfato de cálcio no processo de fabricação, podendo haver também adições minerais. Já Casto (2021, p. 13) descreve como: “O cimento é um material inorgânico de baixa granulometria que, quando misturado com água, forma uma pasta. Por sua vez esta endurece em virtude das reações e processos de hidratação e mantém sua resistência e estabilidade.”

Considerando o processo de fabricação, Gaharwar *et al.* (2016 *apud* Coelho, 2021) delinea os componentes primários utilizados, que são gesso, argila e calcário. Após a extração, segue-se uma série de procedimentos, que incluem pré-homogeneização ou moagem, homogeneização, cozedura, resfriamento e adições específicas conforme o tipo de material a ser produzido, tais como material carbonático, escórias e material pozzolânico.

O calcário é uma matéria prima primordial e é extraído de jazidas subterrâneas ou a céu aberto, sendo britado para atingir as dimensões necessárias para o processo industrial. A argila, que fornece alumina ( $Al_2O_3$ ), é extraída de depósitos ao céu aberto e também passa pelo processo de britagem.

A argila e o calcário são misturados em um pré-homogeneizador. Posteriormente, essa matéria-prima é levada ao moinho cru, onde é transformada em um pó fino e submetida à homogeneização. Por fim, ele passa pelo pré-aquecedor e pelo forno, que pode alcançar até  $1450^{\circ}C$ , onde ocorre a queima, processo conhecido como clinquerização, até formar o clínquer. A Figura 2 indica o esquema de todo processo de fabricação.

Figura 2 - Processo de fabricação do cimento Portland.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Existem diversos tipos de cimento Portland, onde são classificados de acordo com as adições e propriedades especiais. Ou seja, existem composições com diferentes características e aplicabilidades, tornando-o um material versátil. A Tabela 1 mostra os tipos normalizados e produzidos no Brasil, tal como sua designação, sigla e classe de resistência.

Tabela 1 - Cimentos Portland normalizados.

Nome técnico	Sigla	Classe de resistência (Mpa)
Comum	CP I	
Comum com adição	CP I-S	
Composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E	
Composto com material pozolânico	CP II-Z	25, 32 ou 40
Composto com material carbonático (fíler)	CP II-F	
Alto-forno	CP III	
Pozolânico	CP IV	
Alta resistência inicial	CP V	ARI
Branco Estrutural	CPB	25, 32 ou 40
Branco Não estrutural	CPB	-

Fonte: Adaptado da NBR 16697 (ABNT, 2018).

### 2.1.1.2 Agregado Miúdo

De acordo com Al-majeed *et al.* (2018) areia é um componente crítico na fabricação de argamassas porque determina as propriedades mecânicas e reológicas do material. A areia funciona como um agregado fino na produção de argamassas, fornecendo à mistura resistência,

estabilidade e trabalhabilidade. Cada um dos vários tipos de areia que são utilizados tem características particulares que impactam diretamente o desempenho da argamassa.

Devido à sua abundância e características adequadas, a areia natural extraída de rios e praias é a mais comum. Para garantir uma compactação adequada e coesão da argamassa, sua granulometria deve ser distribuída uniformemente. Areias muito grossas podem dificultar a trabalhabilidade, enquanto areias com grãos muito finos podem requerer uma quantidade maior de aglomerantes.

A areia artificial, que é feita a partir da britagem de rochas, é um outro tipo de areia que é usado. A granulometria desta areia é mais controlada e pode ser uma alternativa sustentável, pois reduz a extração de areia natural. A areia reciclada, obtida a partir de resíduos de construção e demolição, também tem sido considerada uma opção viável que pode contribuir para a construção civil sustentável (Sartort *et al.*, 2019).

Outra consideração importante é a pureza da areia. A argamassa pode ser comprometida por impurezas como argila, silte e matéria orgânica, o que afeta sua durabilidade, aderência e resistência. Como resultado, a lavagem e a classificação da areia são etapas cruciais no processo de preparação do material (Ambrozewicz, 2012). A Figura 3 apresenta uma amostra de areia após o ensaio de granulometria, conforme prescrito na NBR 17054 (ABNT, 2022).

Figura 3 - Granulometria da areia.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

### 2.1.1.3 Água potável

A água potável ajuda na hidratação do cimento porque facilita as reações químicas que formam produtos hidratados, que dão resistência e coesão à argamassa. Essas reações podem ser prejudicadas por substâncias indesejáveis como ácidos, álcalis, óleos, sais e matéria orgânica. Isso pode resultar em uma argamassa de baixa qualidade.

A quantidade de água utilizada também deve ser cuidadosamente controlada. A porosidade, a trabalhabilidade e a resistência da argamassa são fortemente influenciadas pela relação água/cimento. Um excesso de água pode segregar os componentes e aumentar a porosidade, diminuindo a resistência e a durabilidade do material. Por outro lado, uma falta de

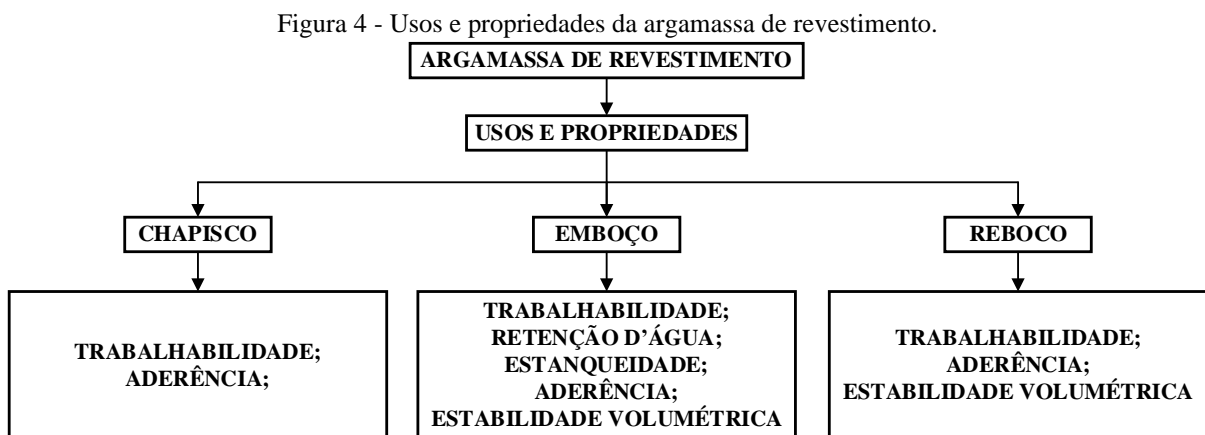
água pode impedir que o cimento se hidrate totalmente, resultando em uma argamassa frágil e de baixa coesão (Castro e Pandolfelli, 2009).

#### 2.1.1.4 Aditivos

Aditivos são adicionados à mistura de argamassa para alterar suas características e aumentar seu desempenho em determinadas condições. Esses aditivos podem ser de vários tipos, incluindo plastificantes, que tornam o concreto mais trabalhável; aceleradores, que aceleram o processo de cura; e aditivos impermeabilizantes, que aumentam a resistência do concreto à infiltração de água. Para garantir que as mudanças nas propriedades da argamassa sejam benéficas e não prejudiciais, os aditivos devem ser adicionados com cuidado (Piekarczyk *et al.*, 2017).

#### 2.1.2 Propriedades da argamassa

A Figura 4 apresenta um esquema dos usos e propriedades da argamassa de revestimento, segundo Yoshida e Barros (1995).



Fonte: Adaptado de Yoshida e Barros (1995).

Segundo Cincotto *et al.* (1995) argamassa de revestimento desempenha funções que estão diretamente relacionadas às suas propriedades no estado fresco e endurecido. A Tabela 2 a seguir mostra essa relação mais detalhada.

Tabela 2 - Funções e propriedades da argamassa baseado no seu estado.

<b>Estado</b>	<b>Propriedades da argamassa</b>	<b>Função</b>
<b>Fresco</b>	Trabalhabilidade;	Base do traço
	Consistência e Plasticidade;	
	Retenção de água;	
	Massa específica e Teor de ar incorporado; Aderência inicial e Retração na secagem.	
<b>Endurecido</b>	Resistência à tração e compressão;	Segurança
	Resistência ao desgaste superficial – Abrasão;	
	Resistência ao impacto;	
	Resistência ao fogo;	Habitabilidade
	Estanqueidade à água; Isolamento térmico e acústico.	
	Durabilidade	Materiais

Fonte: Adaptado de Cincotto *et al.* (1995).

### 2.1.2.1 Propriedades da argamassa no estado fresco

#### a) Trabalhabilidade

A facilidade com que a argamassa pode ser misturada, manuseada e aplicada é chamada de trabalhabilidade. Plasticidade e consistência da mistura a influenciam. Uma argamassa de boa trabalhabilidade é suficientemente fluida para ser espalhada facilmente, mas firme o bastante para não escorrer ou desmoronar. A consistência pode ser alterada por uma variedade de fatores, incluindo a proporção de água, o tipo de aglomerante, a granulometria dos agregados e o uso de aditivos plastificantes (Carasek, 2010). A trabalhabilidade é determinada pelo ensaio de consistência, prescrito na NBR 13276 (ABNT, 2016).

Diversas pesquisas vêm sendo feitas com a utilização da borra de café (SCG) em compósitos cimentícios, e em todas ocorre a redução significativa da trabalhabilidade, necessitando assim a utilização de plastificantes ou uma maior quantidade de água para atender os parâmetros previstos nas normas.

## b) Retenção de água

A capacidade de retenção de água é essencial para evitar a desidratação precoce da argamassa, que pode ser causada pela evaporação rápida ou pela absorção da água pelos blocos de alvenaria. A retenção adequada de água garante a cura adequada do cimento, melhorando suas propriedades mecânicas e aumentando sua durabilidade. O uso de aditivos retentores de água e a adição de materiais finos, como a cal, podem melhorar essa propriedade (Carasek, 2010; Cincotto *et al.* 1995).

A retenção de água é determinada pelo ensaio prescrito na NBR 13277 (ABNT, 2005).

## c) Massa específica e Teor de ar incorporado

As características mecânicas e de durabilidade das argamassas são fortemente influenciadas por sua massa específica e teor de ar incorporado. A massa específica, também conhecida como densidade, é a proporção entre a massa da argamassa e seu volume. A resistência à compressão, a capacidade de carga e a durabilidade do material são todos influenciados por esta propriedade. A argamassa com maior massa específica tem maior desempenho mecânico, mas é mais suscetível a fissuras devido à sua menor deformabilidade (Carasek, 2010).

O termo "teor de ar incorporado" descreve o nível de ar presente na mistura de argamassa. A incorporação controlada de ar pode reduzir a densidade da argamassa, aumentar a trabalhabilidade e aumentar a resistência ao congelamento e descongelamento da argamassa. Mas um excesso de ar pode prejudicar a resistência mecânica. A utilização de aditivos incorporadores de ar permite que essa propriedade seja ajustada para atingir o equilíbrio ideal entre trabalhabilidade, resistência e durabilidade (Romano *et al.*, 2018).

A retenção de água é determinada pelo ensaio prescrito na NBR 13278 (ABNT, 2005).

## d) Aderência inicial e Retração na secagem

A eficácia e a durabilidade das argamassas são diretamente influenciadas pelas propriedades de aderência inicial e retração na secagem. A capacidade da argamassa de se fixar firmemente às superfícies das bases, como tijolos, blocos ou concreto, imediatamente após a aplicação, é chamada de aderência inicial (Recena, 2012). A integridade estrutural e a

resistência ao descolamento dependem dessa propriedade. A composição da argamassa e a preparação da superfície de aplicação a fixação afetam a aderência inicial (Carasek, 2010).

A retração na secagem ocorre quando a argamassa perde água durante o processo de cura. Se esta propriedade não for mantida, pode causar fissuras e perda de aderência. A relação água/cimento, a granulometria dos agregados e o ambiente de cura afetam a retração. Para reduzir os efeitos negativos da retração, a cura adequada é essencial (Baía e Sabbatini, 2008).

As resistências a aderência nas argamassas de revestimento são determinadas pelos ensaios prescritos nas normas NBR 13528-1 e 13528-2 (ABNT, 2019).

### *2.1.2.2 Propriedades da argamassa no estado endurecido*

#### a) Resistência à tração e compressão

A resistência à tração e à compressão, propriedades mecânicas essenciais das argamassas, são essenciais para a integridade estrutural e a durabilidade das construções. A capacidade de uma argamassa de resistir a forças que tendem a diminuir seu volume é conhecida como resistência à compressão. Este é um dos critérios mais importantes para avaliar o desempenho e a qualidade das argamassas, especialmente para componentes de alvenaria e estrutura. O tipo e a quantidade de aglomerante, a relação água/cimento e a granulometria dos agregados são fatores na composição da mistura que determinam a resistência à compressão (Carasek, 2010).

A resistência à tração, por outro lado, refere-se à capacidade da argamassa de resistir a forças que tendem a fazê-la se alongar ou se separar. Embora a resistência à tração das argamassas seja muito menor que à compressão, ela ainda é vital. Isso se deve ao fato de que tanto o concreto quanto a argamassa sofrem fissuras e danos por tensões de tração. Os ensaios de tração na flexão podem medir essa resistência (Carasek, 2010).

As resistências mecânicas são determinadas pelos ensaios prescritos na NBR 13279 (ABNT, 2005).

#### b) Resistência ao desgaste superficial – Abrasão

A resistência ao desgaste superficial, também conhecido como abrasão, é uma propriedade essencial das argamassas, especialmente quando aplicadas em pavimentos, revestimentos e outras superfícies que são constantemente expostas ao tráfego e impactos. A

capacidade de um material de resistir ao desgaste causado pelo atrito ou movimento repetido de objetos sobre sua superfície é chamada de abrasão. Essa característica é essencial para garantir que as superfícies de concreto e argamassa permaneçam funcionais e bonitas por um longo período de tempo (Carasek, 2010).

A composição da argamassa, a qualidade dos agregados, a quantidade de aglomerante e a relação água/cimento são algumas das variáveis que afetam a resistência à abrasão. A resistência ao desgaste é melhor em agregados com agregados duros e bem graduados. A escolha do tipo de cimento e a inclusão de materiais pozolânicos podem aumentar essa propriedade, dando à superfície do material maior densidade e dureza (Carasek, 2010).

### c) Coeficiente de Capilaridade

Uma propriedade essencial das argamassas é o coeficiente de capilaridade, que descreve sua capacidade de absorver e transportar água através de seus poros por ação capilar. Essa característica é vital para a resistência e o desempenho das construções, especialmente em locais úmidos. A estrutura porosa do material determina a capilaridade, que inclui o tamanho, a distribuição e a conectividade dos poros (Maciel *et al.*, 1998).

Materiais com poros menores e bem distribuídos têm coeficientes de capilaridade maiores, o que facilita a absorção e o transporte de água. A água pode causar uma variedade de problemas, como eflorescência, degradação de componentes internos e crescimento de fungos. Isso compromete a integridade estrutural e a aparência visual das construções (Mattana *et al.*, 2012). O coeficiente de capilaridade é afetado pela composição da argamassa, que inclui a proporção de agregados, aditivos e cimento. A adição de aditivos hidrofóbicos ou impermeabilizantes, bem como argamassas com baixa relação água/cimento, podem reduzir significativamente a capilaridade (Sentone, 2011).

### f) Durabilidade

A propriedade crucial da argamassa é a durabilidade, que determina a durabilidade do material e sua capacidade de resistir a diferentes condições ambientais e uso ao longo do tempo. A composição da argamassa, as condições de cura, a qualidade dos materiais utilizados e a exposição a poluentes, água, gelo e sais são algumas das variáveis que impactam a durabilidade de uma argamassa (Recena, 2012).



A durabilidade de uma argamassa depende da proporção de cimento, agregados e aditivos. A resistência à penetração de água e outros agentes agressivos pode ser significativamente aumentada por uma mistura bem projetada com a relação correta água/cimento.

## 2.2 Borra de café

A borra de café gasta, também conhecida como spent coffee ground (SCG), é o resíduo sólido produzido após a preparação do café, que consiste nas partículas sobranes dos grãos moídos. A SCG é produzida em grande quantidade em todo o mundo e contém uma variedade de componentes orgânicos e inorgânicos.

O SCG geralmente é destinado a aterros sanitários, combustão ou uso na compostagem. Mas esses métodos de descarte podem ser prejudiciais ao meio ambiente. A decomposição do SCG pode causar calor nos aterros, aumentando a probabilidade de combustão espontânea. Além disso, ao decompor, gases de efeito estufa como dióxido de carbono e metano são liberados, contribuindo para o aquecimento global. Segundo pesquisas recentes, além dos riscos associados à combustão de gases, a SCG pode conter compostos potencialmente perigosos para o meio ambiente. Essas substâncias podem ser liberadas no solo e na água, causando poluição e prejudicando a flora e fauna local (Ktori *et al.*, 2018; Massaro; Ferreira, 2019).

Devido à sua ampla gama de usos ambientais e industriais, a gestão sustentável deste resíduo tem despertado grande interesse. Na construção civil, diversos estudos vêm sendo realizados, a exemplo do trabalho de Cobo-Ceacero *et al.* (2022), que estuda a diminuição da temperatura de trabalho e estrutura mais porosa, quando adicionado à argila. Redução da densidade aparente em até 26% e da condutividade térmica em até 72% em argamassas, como apresentado na Tabela 3 (Saeli *et al.*, 2023).

Tabela 3 - Redução da condutividade térmica utilizando a borra de café na argamassa.

Argamassa	Relação Volumétrica		Borra de	Redução da Condutividade
	Cimento	Areia	Café (%)	Térmica (%)
	1	2,550	15	72,07
	1	2,625	12,5	42,43

Fonte: Adaptado de (Saeli *et al.*, 2023).

### 2.3 Biochar

A pirólise é um processo termoquímico que decompõe materiais orgânicos em altas temperaturas, sem ou com pouco oxigênio. Este método é frequentemente usado para transformar a biomassa em produtos carbonáceos, como o *biochar*. Também pode ser usado para transformar líquidos e gases em biocombustíveis e produtos químicos (Mota *et al.*, 2015).

Tomczyk *et al.* (2020) define o *biochar* como uma substância carbonácea produzida pela pirólise da biomassa, um processo de decomposição térmica realizado em condições de baixa ou ausência de oxigênio. A biomassa é feita com resíduos de várias fontes de biomassa, como resíduos agrícolas, florestais e urbanos. A biomassa é aquecida a temperaturas entre 300 e 700 °C durante a pirólise, o que resulta em um produto final com alta estabilidade e alto conteúdo de carbono fixo. A porosidade, a área de superfície e a capacidade de troca catiônica do *biochar* podem ser alteradas pelas condições de pirólise e pelo tipo de biomassa usado (Jindo *et al.*, 2014).

Além de sequestrar carbono, o uso de *biochar* pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A utilização de *biochar* nos solos agrícolas pode diminuir o uso de fertilizantes sintéticos, que requerem muita energia e produzem muitas emissões (Stockmann *et al.*, 2013). Além disso, ele tem a capacidade de adsorver metais pesados e contaminantes, o que melhora a qualidade da água e diminui a poluição ambiental (Gwenzi *et al.*, 2017).

O uso do *biochar* ajuda na gestão sustentável de resíduos biomássicos. Os resíduos agrícolas e florestais podem ser transformados em biomassa e incorporados à construção, fechando o ciclo de uso dos recursos. Porém, apesar dos benefícios, ele enfrenta desafios, suas propriedades variam dependendo da biomassa e do processo de pirólise, e as formulações precisam ser otimizadas para várias aplicações.

Estudos tem destacado a utilização de biochar na construção civil, o aumento de 29,3% na resistência à compressão do concreto, com a substituição parcial do agregado miúdo por *biochar* da borra de café (Roychand *et al.*, 2023). Maior resistência à compressão do concreto quando submetido a altas temperaturas, com a adição do *biochar* extraído da biomassa lenhosa a 500°C (Gupta *et al.*, 2020).

### 3 METODOLOGIA

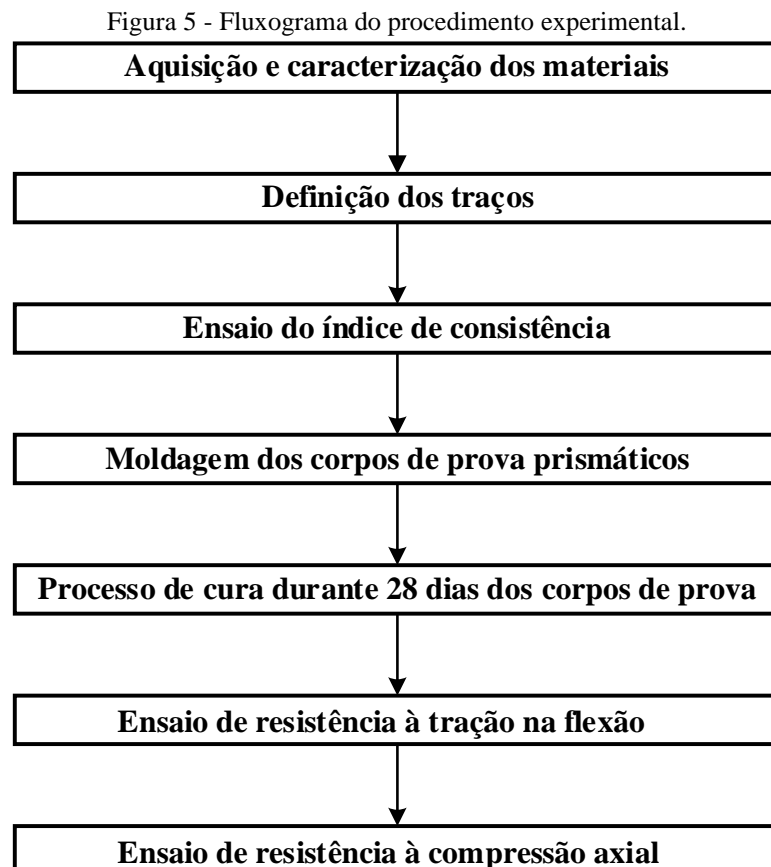
Para atender os objetivos deste trabalho, a campanha experimental foi planejada seguindo as normas brasileiras que englobam o estudo de argamassas, e os testes laboratoriais foram o principal meio de coleta de dados. A borra de café seca em estufa e o *biochar* foram utilizados nas misturas como substituição parcial do agregado miúdo em porcentagem de 12,5%, em massa, com base no trabalho de (Saeli *et al.*, 2023).

Foram utilizados os laboratórios de Materiais da Universidade Estadual da Paraíba, Campus Araruna, e o de Estruturas da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Recife.

As etapas para o desenvolvimento desta pesquisa, materiais utilizados, determinação do índice de consistência e das propriedades mecânicas, estão descritos a seguir.

#### 3.1 Procedimento experimental

A Figura 5 apresenta a sequência do procedimento experimental realizado nesta pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

## 3.2 Materiais utilizados

### 3.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado em todas as amostras foi o CP II-F 32, da marca CSN Cimentos, produzido na fábrica de Montes Claros-MG. A embalagem foi armazenada em local seco e protegido de umidade, permanecendo lacrada até o dia da utilização para confecção das misturas, e armazenada em local seco e protegido.

### 3.2.2 Areia

A areia utilizada foi retirada de Araruna-PB, onde foi estocada e caracterizada no laboratório de estruturas e materiais da Universidade Estadual da Paraíba, campus Araruna. O teor de umidade presente no material foi de 2,96%, devido a isso, toda a massa necessária para utilização nas misturas foi seca em estufa durante 24h à uma temperatura de  $105 \pm 5$  °C, para que não houvesse interferência na relação água cimento.

A determinação da granulometria do agregado miúdo foi realizada seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 17054 (ABNT, 2022). Antes da utilização no ensaio, foi realizado o quarteamo de uma fração da areia, para reduzir a massa a ser utilizada e, posteriormente, foram aquecidas duas amostras de 500g cada à  $105 \pm 5$  °C em uma estufa por 24 horas, para que ocorra perda da umidade e a variação entre as duas pesagens seja menor que 0,1 %. Após a secagem na estufa, separar duas porções de 300g para o peneiramento.

Em seguida, cada peneira (4,75 mm, 2,38 mm, 1,19 mm, 600 µm, 300 µm e 150 µm) foi agitada de forma manual, por 2 minutos e pesada. O material retirado do lado de dentro da peneira é classificado como retido, enquanto que o que se soltar pelo lado de baixo é considerado como passante.

Com esses dados, calculou-se a porcentagem de partículas em cada peneira, permitindo a construção da curva granulométrica, onde mostra graficamente as porcentagens retidas acumuladas em relação ao tamanho das aberturas das peneiras.

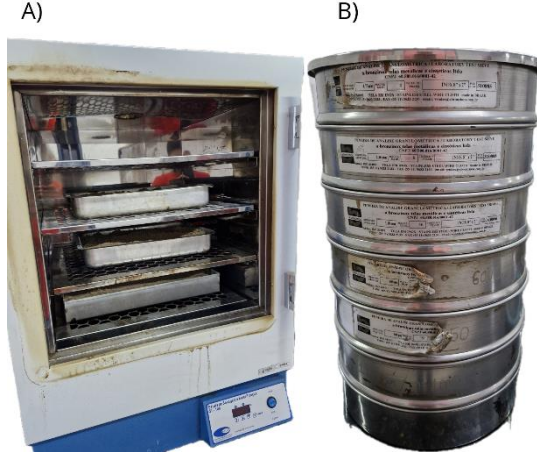
$$\%Retida = \frac{100\% \times \text{Massa Retida}}{\text{Massa Inicial}} \quad (1)$$

$$\% \text{ Retida Acumulada} = \% \text{ Retida Acumulada} + \%Retida \quad (2)$$

A dimensão máxima característica, que é a abertura nominal em que a areia ficou retida acumulada, igual ou inferior à 5%. Módulo de finura, que é obtido pela soma das porcentagens acumuladas dividida por 100.

A Figura 6 apresenta a estufa utilizada para secagem da areia e as peneiras para o ensaio de granulometria.

Figura 6 - Caracterização granulométrica da areia.



A) Secagem da areia na estufa à  $105 \pm 5$  °C; B) Peneiras para ensaio de granulometria de agregado miúdo.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

### 3.2.3 Borra de café

A borra de café utilizada para obtenção do SCG60 e BBC, foi adquirida na residência do autor durante 21 dias, proveniente do Café Torrado e Moído Santa Clara Premium. Neste período, o material foi estocado na geladeira em um recipiente hermético, devido sua natureza orgânica e higroscópica, evitando assim a formação de mofo.

O teor de umidade presente no SCG foi 21,02%, valor coerente devido a utilização de água para formação do mesmo, assim como, o armazenamento em um local com alta umidade, a geladeira.

#### 3.2.3.1 Borra de café seca em estufa (SCG60)

Com respaldo no estudo prévio conduzido por Saeli *et al.* (2023), toda a massa necessária para utilização nas misturas foi seca em estufa durante 24h à uma temperatura de  $60 \pm 5$  °C, resfriado até a temperatura ambiente e empacotado em um saco plástico. A Figura 7 indica a borra de café antes e depois da secagem na estufa.

Figura 7 - Borra de café antes e depois da estufa.



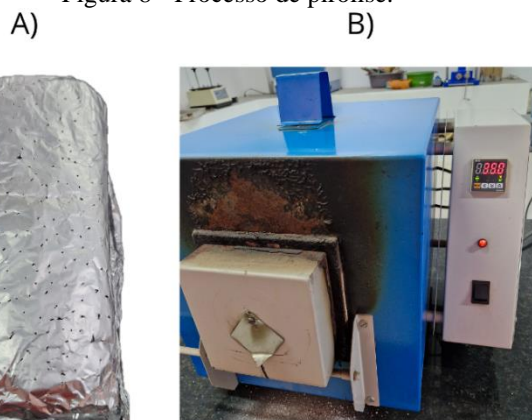
A) Borra de café antes da estufa; B) Secagem da borra de café na estufa a  $60 \pm 5$  °C.  
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

A caracterização granulométrica foi feita seguindo o mesmo procedimento utilizado na areia.

### 3.2.3.2 Biochar da borra de café (BBC)

A pirólise foi executada pelo método convencional seguindo o procedimento utilizado por Roychand *et al.* (2023), 300g da borra de café foi embrulhado em uma folha de alumínio, e microfuros foram realizados em locais aleatórios para que ocorresse o escape dos gases. Em uma mufla, sob uma temperatura de 350 °C e uma velocidade de aumento térmico de 0,25 °C/s, o SCG ficou durante um intervalo de duas horas. A Figura 8 apresenta o processo de pirólise da borra de café.

Figura 8 - Processo de pirólise.



A) Borra de café embrulhada em papel alumínio; B) Mufla a 350°C.  
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Ao terminar o procedimento, o *biochar* foi removido da mufla e transferido para uma estufa, que permaneceu fechada até a amostra chegar na temperatura ambiente. Posteriormente, foi armazenado em um recipiente hermético. A caracterização granulométrica foi feita seguindo o mesmo procedimento utilizado na areia. A Figura 9 indica a borra de café antes e depois do processo de pirólise.

Figura 9 - Borra de café antes e depois da pirólise.



A) Antes da pirólise; B) Depois da pirólise.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

### 3.2.4 Aditivo plastificante

Foi utilizado, em todas as amostras, aditivo plastificante quartzolit, da marca Saint-Gobain. De acordo com o boletim técnico, o material possui massa específica de 1,002 a 1,004g/cm<sup>3</sup>.

A dosagem recomendada pelo fabricante corresponde a 0,2% do produto por massa de cimento, ou seja, 2 ml de aditivo para cada 1 kg de cimento Portland. No entanto, a utilização recomendada não obteve a trabalhabilidade desejada, logo, adotou-se a quantidade necessária do produto, até obter uma consistência com variação entre 165±5 e 260±5 mm, conforme indicam a NBR 7215 (ABNT, 2019) e 16541 (ABNT, 2016), respectivamente.

### 3.2.5 Água Potável

Foi utilizada a água oriunda da rede de abastecimento da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Recife.

### 3.3 Definição dos traços

Para a substituição parcial do agregado miúdo por SCG60, em massa, utilizou-se o percentual de 12,5%, com base no trabalho de Saeli *et al.* (2023), que obteve uma redução da condutividade térmica de 42,43%.

Para a dosagem do *biochar* da borra de café, até o momento da realização deste trabalho, não haviam pesquisas referentes a utilização do BBC em argamassas. Logo, a fim de realizar uma análise comparativa das propriedades em relação a utilização do SCG60, utilizou-se o mesmo percentual de 12,5%.

Devido à alta porosidade do SCG, quando em contato com a água, esse material tende a absorvê-la por capilaridade. Por conseguinte, observou-se que a trabalhabilidade das misturas de argamassa diminui, necessitando assim de uma maior hidratação. A fim de melhorar a consistência das misturas como prescrito nas normas, sem modificar a relação água/cimento (A/CP) de 0,48, utilizou-se uma quantidade de aditivo plastificante acima do recomendado pelo fabricante, pois com essa recomendação, não obtivemos uma boa trabalhabilidade.

No entanto, nas amostras com utilização de BBC, além da utilização do aditivo, houve a necessidade de aumentar a utilização de água, modificando assim a relação A/CP. Os traços em massa das misturas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dosagem experimental das argamassas, em massa.

SCG	ID	SCG (%)	CP (g)	Areia (g)	SCG (g)	A (ml)	A/CP (ml/g)	Aditivo Plastificante (ml)
<b>Plastificante Fabricante</b>	<b>Ref-Plas<sub>1,25</sub></b>	0	624	1872	0	300	0,48	1,25 ml
	<b>Seco na Estufa (SCG60)</b>							
	<b>SCG60<sub>Ref</sub></b>	0	624	1872	0	300	0,48	10 ml
	<b>SCG60<sub>A-0,48</sub></b>	12,5	624	1638	234	300	0,48	10 ml
	<b>BBC<sub>Ref</sub></b>	0	624	1872	0	437	0,7	10 ml
<b>Biochar (BBC)</b>	<b>BBC<sub>A-0,70</sub></b>	12,5	624	1638	234	437	0,7	10 ml
	<b>BBC<sub>A-0,60</sub></b>	12,5	624	1638	234	374	0,6	10 ml
	<b>BBC<sub>A-0,65</sub></b>	12,5	624	1638	234	406	0,65	10 ml

Legenda: Ref - Referência (sem borra de café); A-n° - Amostra com borra de café - relação A/CP.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.



### 3.4 Preparo das amostras

A preparação de argamassa em laboratório foi realizada seguindo as recomendações da NBR 16541 (ABNT, 2016), garantindo a consistência e perfeita mistura. A conformidade com essa norma é essencial para assegurar a qualidade das argamassas utilizadas em assentamento e revestimento.

Antes de iniciar a mistura, todos os componentes, como cimento, areia, água e aditivos, devem ser medidos com precisão. Primeiramente, foram adicionados a areia e o cimento na argamassadeira para a mistura inicial.

O misturador foi ligado em velocidade baixa, e durante os primeiros 10 segundos, 75% da água do aditivo foram adicionados. A massa continuou a ser misturada por um total de 30 segundos desde o início do acionamento. Após os 30 segundos iniciais, a velocidade do misturador foi aumentada ao máximo e a massa foi misturada por mais 60 segundos nessa velocidade.

Em seguida, o misturador foi parado para permitir a limpeza das laterais da cuba e da pá de mistura e, após a limpeza, o equipamento foi reposicionado para continuar o processo (permitindo um tempo total de 90 segundos).

O misturador foi acionado novamente em velocidade baixa e durante os primeiros 10 segundos desta etapa, os 25% restantes da água, do aditivo e a borra de café foram adicionados (com exceção para de referência). A massa continuou a ser misturada por mais 60 segundos a partir do acionamento. No entanto, para garantir uma homogeneização adequada dos materiais, fez-se necessário o aumento da velocidade ao máximo da argamassadeira e misturar por mais 50 segundos.

Todo o processo de mistura teve uma duração total de 300 segundos, garantindo uma homogeneização adequada dos materiais e a preparação das amostras. A Figura 10 apresenta a argamassadeira/misturador mecânico utilizado para mistura das argamassas.

Figura 10 - Misturador mecânico Eberle SD 71B n° 0695.



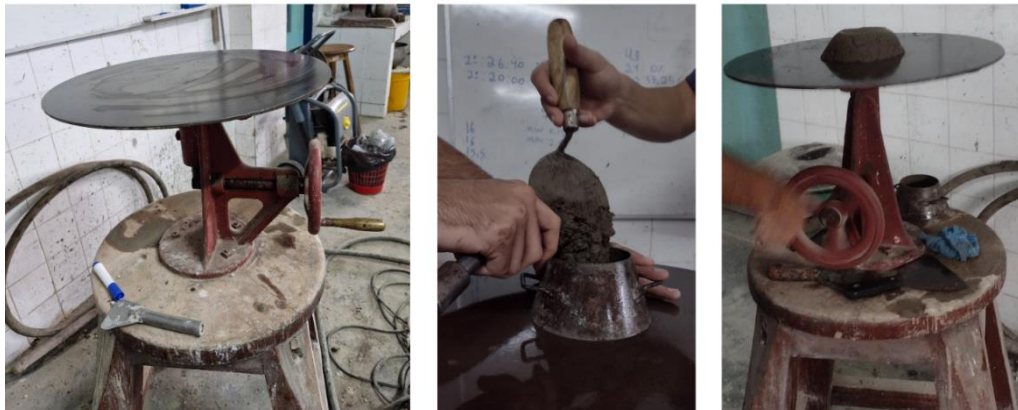
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

### 3.5 Determinação do índice de consistência

A determinação do índice de consistência de argamassas é feita seguindo as recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2016). Após a preparação da argamassa, primeiramente o molde foi preenchido com a argamassa em três camadas sucessivas, e aplicando 15, 10 e 5 golpes com o soquete, respectivamente. Após isso, o molde foi retirado e houve a aplicação de 30 golpes em 30 segundos na mesa manual. O índice de consistência é calculado como a média das duas medidas de diâmetro da argamassa espalhada, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo.

Esse parâmetro é essencial, pois influencia diretamente a trabalhabilidade e a qualidade final do material aplicado. A Figura 11 apresenta os equipamentos utilizados durante o ensaio.

Figura 11 - Determinação do índice de consistência.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

### 3.6 Moldagem dos corpos de prova

A realização de ensaios para determinar a resistência à tração na flexão e à compressão, requer a moldagem de corpos de prova específicos. No caso em questão, foram utilizados corpos de prova prismáticos com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm, moldados conforme as diretrizes da NBR 13279 (ABNT, 2005).

A argamassa preparada foi então colocada em moldes prismáticos em duas camadas distintas. Cada camada foi adensada utilizando uma mesa de adensamento por queda operada manualmente. Esse processo de adensamento é crucial para eliminar bolhas de ar e garantir a compactação uniforme da argamassa dentro do molde. Foram realizados 30 golpes de queda por camada, conforme o procedimento padrão.

Após o adensamento, o rasamento dos corpos de prova foi realizado utilizando uma régua metálica. Este passo é importante para nivelar a superfície da argamassa, garantindo que os corpos de prova tenham uma altura uniforme e que as superfícies sejam planas e lisas, facilitando os ensaios de resistência.

A Figura 12 indica os corpos de prova nos moldes, após o ensaio do índice de consistência.

Figura 12 - Corpos de prova nos moldes.

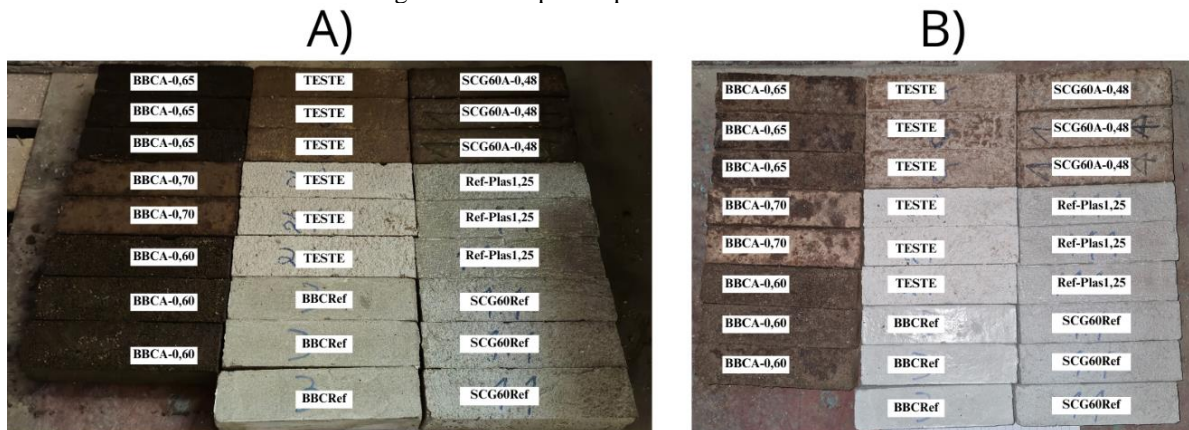


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram no molde por 24 horas. Este período é essencial para permitir que a argamassa inicie seu processo de cura e adquira a coesão necessária para ser manipulada sem se desintegrar.

Depois de desmoldados, os corpos de prova foram condicionados no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPE-CTG. A preparação cuidadosa dos corpos de prova, conforme descrito, assegura que os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão sejam precisos e confiáveis. A Figura 13 apresenta os corpos de prova desmoldados após 24 horas, e após o processo de cura com 28 dias, respectivamente.

Figura 13 - Corpos de prova desmoldados.



A) Corpos de prova com 24 horas; B) Corpos de prova com 28 dias.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

### 3.7 Ensaios físico-mecânicos

#### 3.7.1 Determinação da resistência à tração na flexão

O ensaio para determinação da resistência a tração na flexão foi realizado em conformidade com a NBR 13279 (ABNT, 2005). Para o experimento, foi utilizada uma máquina de ensaio de flexão equipada com apoios e uma lâmina de carga. O corpo de prova é posicionado na máquina com um vão de 12 cm entre os apoios, e uma carga de  $50 \pm 10$  N/s é aplicada de maneira contínua até a ruptura, isso é feito nos três corpos de prova de cada amostra. A carga máxima registrada é utilizada para calcular a resistência à tração na flexão com a Equação 3.

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad (3)$$

Onde:

$R_f$ : resistência à tração na flexão (MPa);

$F_f$ : carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);

L: distância entre os suportes (mm).

A Figura 14 apresenta um corpo de prova posicionado na prensa para ruptura da tração na flexão, e após o rompimento, respectivamente.



A) Corpo de prova posicionado na prensa para ruptura; B) Corpos de prova rompidos.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

### 3.7.2 Determinação da resistência à compressão

O ensaio para determinação da resistência a compressão foi realizado em conformidade com a NBR 13279 (ABNT, 2005). Após o ensaio de resistência à tração na flexão, os corpos de prova foram divididos em duas partes, resultando assim em 6 corpos de prova de 4 x 4 x 8 cm. No experimento, cada um dos seis corpos de prova é colocado na máquina, com a carga aplicada uniformemente em sua superfície. A carga de  $500 \pm 10$  N/s é aplicada até a ruptura do corpo de prova. A resistência à compressão é calculada pela Equação 4.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (4)$$



onde:

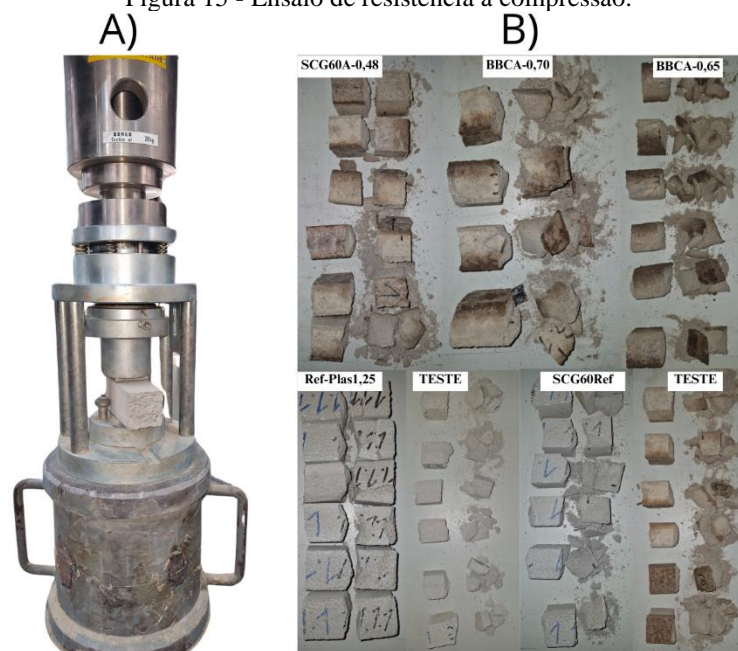
$R_c$ : é a resistência à compressão (MPa);

$F_c$ : é a carga máxima (N);

$A$ : é a área da seção transversal do corpo de prova ( $\text{mm}^2$ ).

A Figura 14 apresenta um corpo de prova posicionado na prensa para ruptura da compressão, e após o rompimento, respectivamente.

Figura 15 - Ensaio de resistência à compressão.



A) Corpo de prova posicionado na prensa para ruptura; B) Corpos de prova rompidos.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

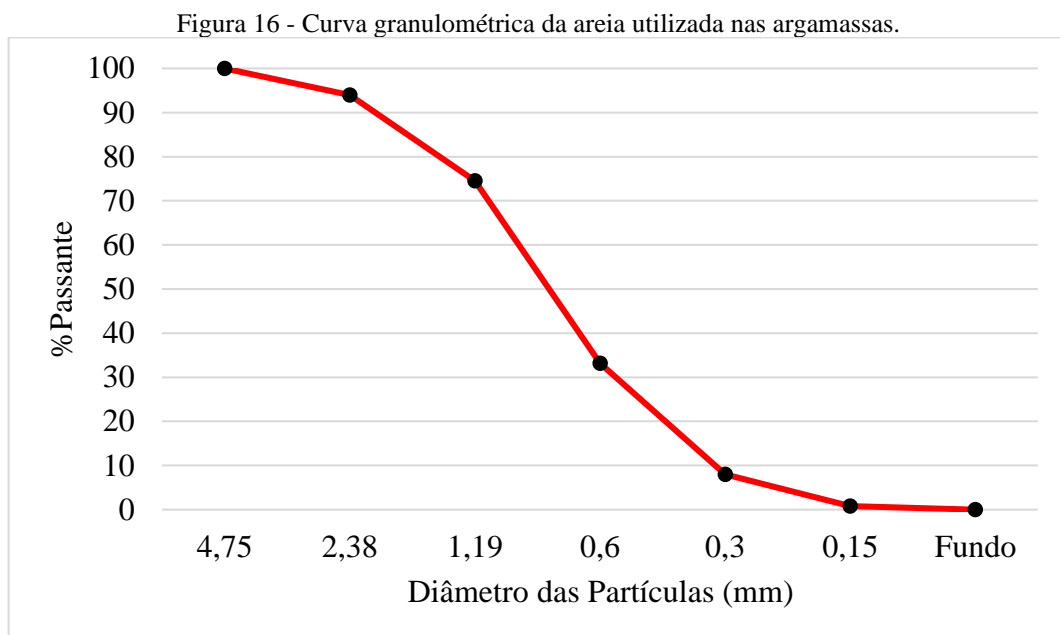
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios de granulometria, índice de consistência, resistência a tração na flexão e compressão axial.

### 4.1 Ensaio granulométricos

#### 4.1.1 Granulometria da areia

A areia utilizada foi caracterizada como média fina, sua dimensão máxima característica foi 2,38mm e o módulo de finura 2,11. A Figura 16 mostra a curva granulométrica da areia, onde a maior porcentagem retida foi na peneira 0,30mm, totalizando 41,34%.

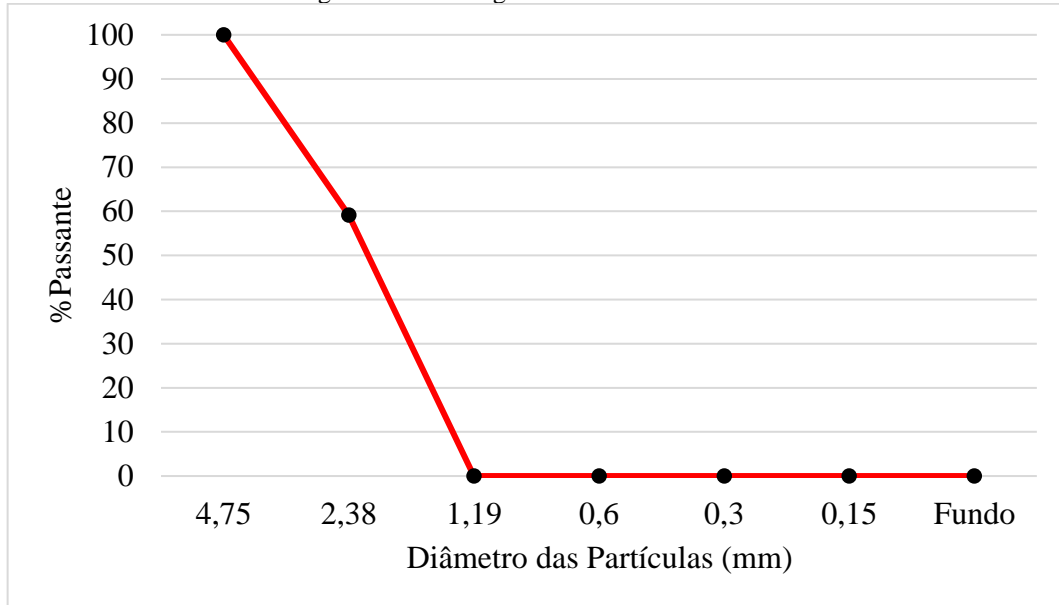


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

#### 4.1.2 Granulometria do SCG60

O módulo de finura encontrado foi 0,59. A Figura 17 mostra a curva granulométrica do SCG60, onde a maior porcentagem retida foi na peneira 0,15mm, totalizando 59,19%.

Figura 17 - Curva granulométrica do SCG60.

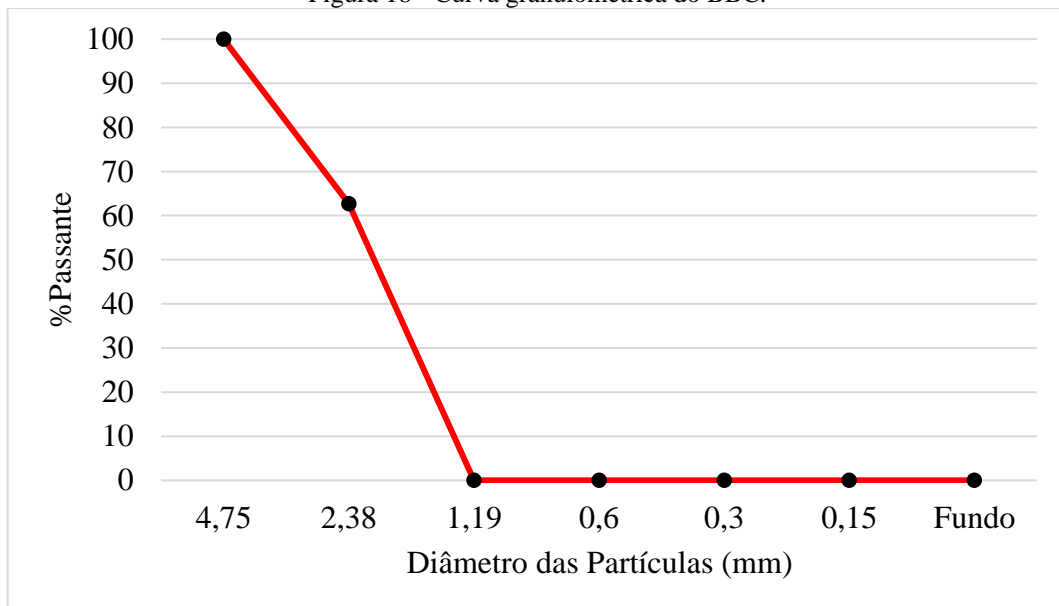


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

#### 4.1.3 Granulometria do BBC

O módulo de finura encontrado foi 0,63. A Figura 18 mostra a curva granulométrica do SCG60, onde a maior porcentagem retida foi na peneira 0,15mm, totalizando 62,70%.

Figura 18 - Curva granulométrica do BBC.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.



## 4.2 Índice de consistência das argamassas

A Tabela 5 e a Figura 19 apresentam os valores encontrados nos ensaios de consistência da argamassa. O objetivo foi obter uma consistência com variação entre  $165\pm 5$  e  $260\pm 5$  mm, conforme indicam as NBR's 7215 (ABNT, 2019) e 16541 (ABNT, 2016), respectivamente. Observou-se claramente o impacto negativo do uso de SCG60 e BBC na consistência da massa.

Na argamassa de referência SCG60<sub>Ref</sub>, onde a dosagem do plastificante utilizada foi superior a recomendada pelo fabricante, foi possível ter um aumento na trabalhabilidade de 30%, chegando próximo ao limite determinado por norma. No entanto, na amostra SCG60<sub>A-0,48</sub>, com a adição de 12,5% da borra de café seca em estufa, houve uma redução na consistência de 11,5%, mas com uma trabalhabilidade satisfatória. Quando comparada com os resultados apresentados por Saeli *et al.* (2023), a consistência aumentou 84%, satisfazendo um dos objetivos do presente trabalho.

Constatou-se que, o *biochar* tem uma maior necessidade de hidratação para ganhar boa trabalhabilidade, comparado ao uso do SCG60. Logo, a fim de manter a consistência, mas sem aumentar a dosagem do aditivo utilizada na borra de café seca em estufa, e analisar o impacto no aumento da água nas misturas, optou-se por mexer na relação água/cimento das argamassas com BBC. Os resultados não foram tão satisfatórios, apenas uma ficou entre os intervalos prescritos nas normas, a BBC<sub>A-0,65</sub>. As outras duas ficaram nos dois extremos, uma muito fluida e a outra muito seca, a BBC<sub>A-0,70</sub> e BBC<sub>A-0,60</sub>, respectivamente.

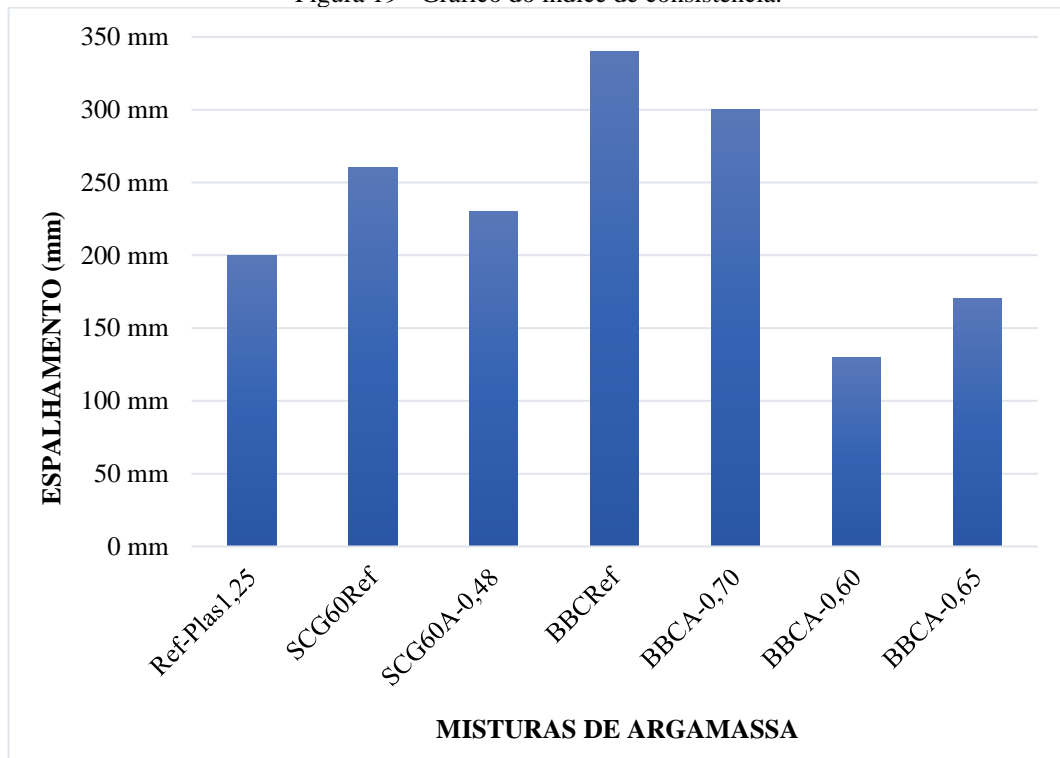
Tabela 5 - Índice de consistência das misturas.

SCG	ID	Espalhamento (cm)	Aditivo Plastificante (ml)
<b>Plastificante Fabricante</b>	<b>Ref-Plas<sub>1,25</sub></b>	200 mm	1,25 ml
	<b>Seco na Estufa (SCG60)</b>	<b>SCG60<sub>Ref</sub></b>	260 mm
	<b>SCG60<sub>A-0,48</sub></b>	230 mm	10 ml
<b>Biochar (BBC)</b>	<b>BBC<sub>Ref</sub></b>	340 mm	10 ml
	<b>BBC<sub>A-0,70</sub></b>	300 mm	10 ml
	<b>BBC<sub>A-0,60</sub></b>	130 mm	10 ml
	<b>BBC<sub>A-0,65</sub></b>	170 mm	10 ml

Ref: Referência (sem borra de café); A-n°: Amostra com borra de café - relação a/c.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Figura 19 - Gráfico do índice de consistência.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

### 4.3 Resistência à tração na flexão

A Tabela 6 e a Figura 20 apresentam os resultados de resistência à tração na flexão das misturas. A utilização de um agente incorporador de ar além do recomendado pelo fabricante, reduziram drasticamente a resistência do material, pois observou-se que, o aditivo plastificante reduziu de 4,44 MPa para 0,89 MPa, os valores das argamassas com borra de café seca em estufa. No entanto, é notório que, a utilização do SCG60 provocou um aumento de 39,33% na resistência, quando comparado com a de referência que possuiu a mesma quantidade de plastificante.

Praneeth *et al.* (2021) ressalta que, a adição de água para melhorar a trabalhabilidade, tem um impacto negativo nas propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios, no entanto, nas argamassas com *biochar*, a amostra com maior quantidade de água obteve a maior resistência. As amostras com BBC mostraram capacidades de carga menores que com SCG60, a  $BBC_{A-0,70}$ , que foi o valor mais próximo, teve 33,3% a menos que a  $SCG60_{A-0,48}$ . Materiais com menores resistências podem ser usados em aplicações menos críticas ou em combinação com outros materiais.

Os resultados apresentaram desvio absoluto menor que os 0,3 MPa permitidos pela norma NBR 13279 (ABNT, 2005).

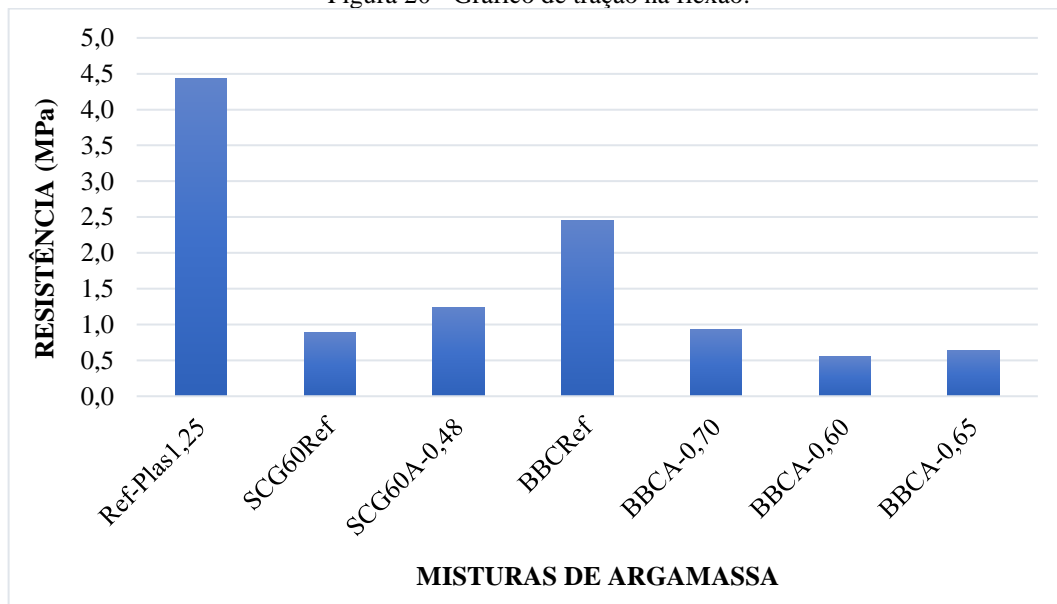
Tabela 6 - Resistência à tração na flexão

SCG	ID	Resistência (MPa)
<b>Plastificante Fabricante</b>	<b>Ref-Plas<sub>1,25</sub></b>	4,44
	<b>Seco na Estufa (SCG60)</b>	
	<b>SCG60<sub>Ref</sub></b>	0,89
	<b>SCG60<sub>A-0,48</sub></b>	1,24
<b>Biochar (BBC)</b>	<b>BBC<sub>Ref</sub></b>	2,45
	<b>BBC<sub>A-0,70</sub></b>	0,93
	<b>BBC<sub>A-0,60</sub></b>	0,56
	<b>BBC<sub>A-0,65</sub></b>	0,64

Ref: Referência (sem borra de café); A-nº: Amostra com borra de café - relação a/c.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Figura 20 - Gráfico de tração na flexão.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

#### 4.4 Resistência à compressão

A Tabela 7 e a Figura 21 apresentam os valores de resistência à compressão medidos para as argamassas de referência e para as com diferentes proporções de substituição parcial do agregado fino, aos 28 dias de cura.

Assim como no ensaio de tração na flexão, a utilização do plastificante reduziu muito a resistência das misturas. Entretanto, novamente a amostra SCG60<sub>A-0,48</sub> obteve um aumento na resistência, quando comparado com a de referência que possui a mesma quantidade de aditivo, dessa vez foi de 52,07%. Se equiparando a pesquisa de Saeli *et al.* (2023), onde a resistência

encontrada foi 8,16 MPa, a neste trabalho reduziu 217,6%, comprovando que, a utilização do plastificante fora da dosagem recomendada pelo fabricante, em busca de uma melhor trabalhabilidade, impacta diretamente nas propriedades mecânicas da argamassa.

A utilização do BBC não apresentou bons resultados nesse ensaio também, apresentando uma redução na resistência em mais de 125%, em relação a de referência ( $BBC_{Ref}$ ), e a amostra que ficou mais fluida, foi a com maior capacidade de carga, apresentando uma diferença de 17,35% em relação ao valor da argamassa  $SCG60_{A-0,48}$ .

Os resultados apresentaram desvio absoluto menor que os 0,5 MPa permitidos pela norma NBR 13279 (ABNT, 2005).

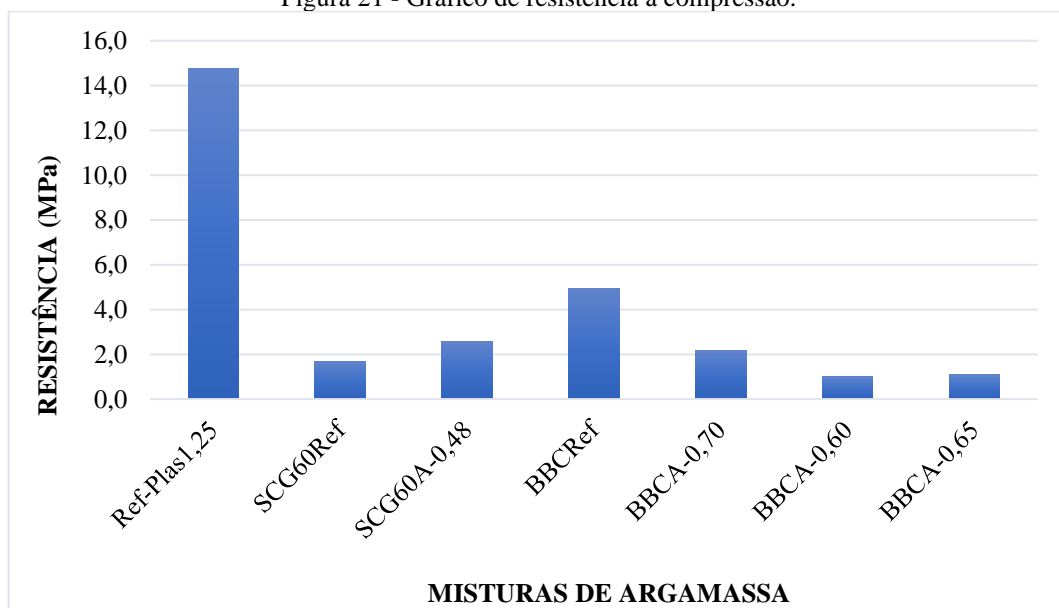
Tabela 7 - Resistência à compressão.

SCG	ID	Resistência (MPa)
Plastificante Fabricante	Ref-Plas <sub>1,25</sub>	14,77
	SCG60 <sub>Ref</sub>	1,69
Seco na Estufa (SCG60)	SCG60 <sub>A-0,48</sub>	2,57
	BBC <sub>Ref</sub>	4,93
Biochar (BBC)	BBC <sub>A-0,70</sub>	2,19
	BBC <sub>A-0,60</sub>	1,01
	BBC <sub>A-0,65</sub>	1,08

Ref: Referência (sem borra de café); A-n°: Amostra com borra de café - relação a/c.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Figura 21 - Gráfico de resistência à compressão.

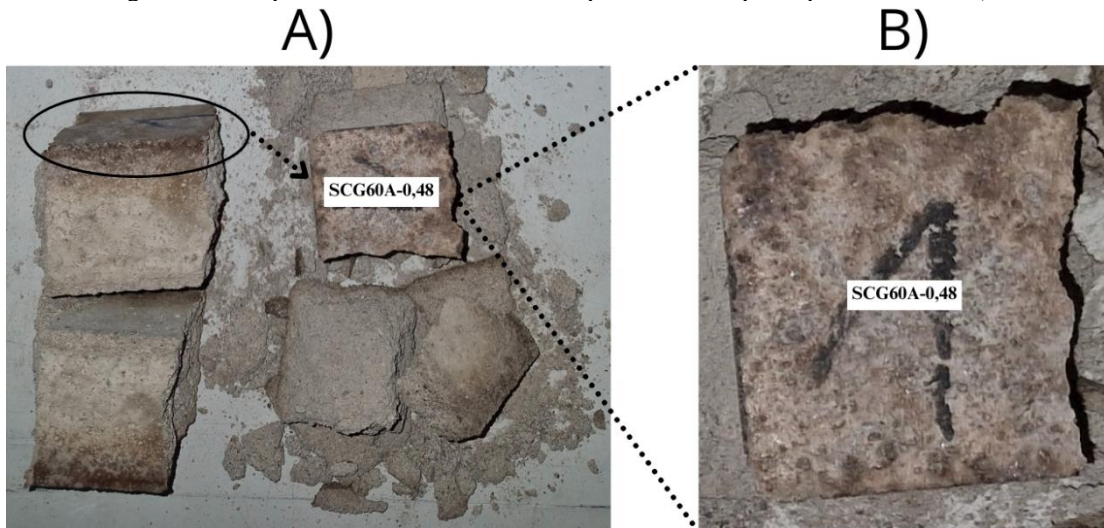


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

#### 4.5 Deslocamento do corpo de prova

A Figura 22 mostra que houve um deslocamento de 6mm na amostra SCG60<sub>A-0,48</sub>, no ensaio de compressão. É notório que houve uma separação dos materiais durante o processo de cura, a coloração mais clara indica que houve uma sedimentação da mistura areia/cimento e, por consequência, uma maior concentração da SCG60 ficou na parte superior do corpo de prova, formando assim uma “placa”. Isso ocorre, possivelmente pela baixa densidade do SCG quando comparado com os demais materiais, como apresentado por (Mohamed; Djamil, 2018).

Figura 22 - Deslocamento no ensaio de compressão do corpo de prova SCG60<sub>A-0,48</sub>.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 Considerações finais

Esta pesquisa experimental, investigou o impacto do reaproveitamento de borras de café como substituto parcial da areia em argamassas, sobre as características físico-mecânicas e uma trabalhabilidade ideal para o dia a dia nas obras. Foram testadas misturas com a borra de café seca em estufa a 60°C, e *biochar* proveniente do processo de pirólise a 350°C.

A vantagem ambiental de empregar esses resíduos de maneira eficiente constitui uma das principais razões para a realização deste estudo, assim como, estudos anteriores que mostraram uma eficiência energética na utilização do mesmo. A partir das análises realizadas, as conclusões a seguir foram estabelecidas:

- A utilização de altas dosagens de aditivo plastificante melhoraram a trabalhabilidade das misturas, no entanto, geraram um alto impacto negativo nas propriedades físico-mecânicas, reduzindo drasticamente a resistência a compressão e tração na flexão;
- Durante processo de cura, as amostras com SCG sofreram um processo de separação dos materiais, a borra de café ficou na parte superior dos corpos de prova, possivelmente devido a sua baixa densidade;
- A amostra SCG60<sub>A-0,48</sub> obteve melhores resultados no ensaio de consistência, obtendo 23cm de espalhamento;
- Apesar da utilização do plastificante ter reduzido significativamente as resistências físico-mecânicas, a utilização da borra de café gerou um aumento nas mesmas. Na amostra SCG60<sub>A-0,48</sub>, que foi a com melhor desempenho, em relação à argamassa de referência com 10ml de plastificante, houve uma melhoria de 39,33% na tração à flexão e 52,07% na compressão.

Esses números indicam o potencial desse resíduo, consistindo de um recurso que melhora um material muito utilizado na construção civil, que é a argamassa. Além de contribuir para a diminuição dos impactos ambientais gerados pelo descarte do SCG em aterros, como a combustão espontânea e a liberação de gases que contribuem para o aquecimento global, e a utilização cada vez menor de recursos naturais, como a areia.

## 5.2 Sugestão de trabalhos futuros

Visando uma linha de pesquisa mais avançada, menos limitada em questão de tempo, recursos e infraestrutura, como é no trabalho de conclusão de curso, ressalto a importância de realizar estudos adicionais e ajustes nos processos que podem melhorar as propriedades mecânicas dessas amostras.

- A utilização de altas dosagens de aditivo plastificante reduziram drasticamente a resistência a compressão e tração na flexão, devido a isto, é válido alterar a relação água/cimento das amostras para obter uma melhor trabalhabilidade e não utilizar o plastificante, avaliando as alterações nas suas propriedades;
- Realizar caracterização da massa específica dos materiais e fazer os traços de acordo com o volume, pois o SCG tem massa específica muito inferior aos demais materiais.
- Avaliar as propriedades no estado endurecido e fresco:
  - Resistência potencial de aderência à tração no substrato e a resistência potencial à tração superficial;
  - Módulo de elasticidade dinâmico;
  - Variação dimensional (retração ou expansão linear);
  - Coeficiente de absorção de água por capilaridade;
  - Retenção de água;
  - Densidade de massa no estado fresco;
  - Teor de ar incorporado;

## REFERÊNCIAS

- AL-MAJEED, E. A.; HEKMAT, D.; AL-MOHNIA, M. S.; ABDULMAJEED, E. The effect of Palm Kernel Powder on compressive strength and absorption of Portland cement Mortar. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, Tamilnadu, v. 9, 2018.
- AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo: PINI, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. **NBR 17054**, Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. **NBR 9778**, Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. **NBR 13276**, Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. **NBR 13279**, Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. **NBR 15259**, Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. **NBR 16541**, Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. **NBR 13277**, Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. **NBR 13278**, Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. **NBR 7215**, Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Cimento Portland - Requisitos. **NBR 16697**, Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração – Parte 1 - Requisitos gerais. **NBR 13528-1**, Rio de Janeiro, 2019.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 2 - Aderência ao substrato. **NBR 13528-2**, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 3 - Aderência superficial. **NBR 13528-3**, Rio de Janeiro, 2019.

BAÍA, L.L.M; SABBATINI, F.H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa. Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras**. 4 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 82 p, 2008.

CARASEK, H. Argamassas. Capítulo 26. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. 2 ed. **IBRACON**, 2010. v.1 & v.2. p. 863-891.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. **Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. *Cerâmica*. v. 55, p. 18-32, 2009.

CHARAI, M. *et al.* Thermophysical characteristics of cement-based mortar incorporating spent coffee grounds. **Materials Today: Proceedings**, v. 57, p. 867–870, 1 jan. 2022.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, n. 2378, São Paulo, 1995.

Cobo-Ceacero, C.J., Moreno-Maroto, J.M., Guerrero-Martínez, M., Uceda-Rodríguez, M., Lopez, A.B., García, C.M., Cotes-Palomino, T., 2022. Effect of the addition of organic wastes (cork powder, nut shell, coffee grounds and paper sludge) in clays to obtain expanded lightweight aggregates. *Bol. Soc. Esp Cer. Vidrio* (in press).

COELHO, Nayane P. F. **Efeito da utilização de biochar da casca de café sobre as propriedades do concreto**. 2021. 83f. Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.

GAHARWAR, A. S. *et al.* A Review Article on Manufacturing Process of Cement, Environmental Attributes, Topography and Climatological Data Station: IMD, Sidhi M.P~ 47 ~ **Journal of Medicinal Plants Studies**.

**Global Waste Management Outlook 2024 - Beyond an age of waste: Turning rubbish into a resource**. [s.l.] United Nations Environment Programme, 2024.

GUPTA, S.; KUA, H. W. Factors Determining the Potential of Biochar As a Carbon Capturing and Sequestering Construction Material: Critical Review. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 9, set. 2017.

GUPTA, S.; KUA, H. W.; PANG, S. D. Effect of biochar on mechanical and permeability properties of concrete exposed to elevated temperature. **Construction and Building Materials**, v. 234, p. 117338, fev. 2020.

GWENZI, W.; CHAUKURA, N.; NOUBACTEP, C.; MUKOME, F. N. Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p.732-749, 2017.

H. F. W. TAYLOR. **Enciclopedia de la química industrial - la química de los cementos.** v.1.

JINDO, K.; MIZUMOTO, H.; SAWADA, Y.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; SONOKI, T. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. **Biogeosciences**, v. 11, p. 6613-6621, 2014.

KTORI, R.; KAMATEROU, P.; ZABANIOTOU, A. Spent coffee grounds valorization through pyrolysis for energy and materials production in the concept of circular economy. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 14, p. 27582–27588, 2018.

KYLILI, A.; FOKAIDES, P. A. Policy trends for the sustainability assessment of construction materials: A review. **Sustainable Cities and Society**, v. 35, p. 280–288, nov. 2017.

LEONE, L. *et al.* **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.**

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, EPUSP/PCC, 1998. (Convênio EPUSP/SENAI).

MASSARO SOUSA, L.; FERREIRA, M. C. Spent coffee grounds as a renewable source of energy: An analysis of bulk powder flowability. **Particuology**, v. 43, p. 92–100, abr. 2019.

MATTANA, A. J., MEDEIROS, M. H. F., SILVA, N. G., COSTA, M. R. M. M. C. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79, out. dez. 2012.

MOHAMED, G.; DJAMILA, B. Properties of dune sand concrete containing coffee waste. **MATEC Web of Conferences**, v. 149, p. 01039, 14 fev. 2018.

MOTA, F. A. S.; VIEGAS, R. A.; LIMA, A. A. S.; SANTOS, F. F. P.; CASELLI, F. T. R. Pirólise da biomassa lignocelulósica: uma revisão pyrolysis of lignocellulose biomass: A review. **Revista GEINTEC – ISSN: 2237-0722**. v. 5, p.2511-2525, 2015.

PIEKARCZYK, B. L.; MIERA, P.; SZWABOWSKI, J. **Plasticizer and Superplasticizer Compatibility with Cement with Synthetic and Natural Air-Entraining Admixtures.** IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, v. 245, p 1-9, 2017.

PRADA, M. *et al.* New solutions to reduce greenhouse gas emissions through energy efficiency of buildings of special importance – Hospitals. **Science of The Total Environment**, v. 718, p. 137446, maio 2020.

PRANEETH, S.; SAAVEDRA, L.; ZENG, M.; DUBEY, B.K.; SARMAH. A.K.; Biochar admixed lightweight, porous and tougher cement mortars: Mechanical, durability and micro computed tomography analysis. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 750, 2021.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo a argamassa.** 2ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

ROMANO, R. C. de O., CINCOTTO, M. A. e PILEGGI, R. G. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído [online]**, v. 18, n. 2, pp. 289-308, 2018.

ROYCHAND, R.; KILMARTIN-LYNCH, S.; SABERIAN, M.; LI, J.; Zhang G.; Li, C.Q. Transforming spent coffee grounds into a valuable resource for the enhancement of concrete strength. 2023. **Journal of Cleaner Production**. Volume 427, 139246. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139246>>.

SAELI, M.; CAPELA, M.N.; PICCIRILLO, C.; TOBALDI, D.M.; SEABRA, M.P.; SCALERA, F.; STRIANI, R.; CORCIONE, C.E.; CAMPISI, T. Development of energy-saving innovative hydraulic mortars reusing spent coffee ground for applications in construction. 2023. **Journal of Cleaner Production**. Volume 399, 136664. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136664>>.

SANTOS, White José dos. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento**. 2014. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014.

SARTORTI, A. L.; BARBOSA, L. S.; ROCHA, A. F. H.; PASCHALIS, H. ; **Influência do agregado miúdo na resistência à compressão do concreto**. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, São Paulo, v. 19, p. 83-98, 2019.

SENTONE, D. T. **Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Sao Paulo, 2011.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORD, J. W. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agric Ecosyst Environ*, v. 164, p. 80-99, 2013.

TOMCZYK, A.; SOKOŁOWSKA, Z.; BOGUTA, B. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v. 19, p. 191-215, 2020.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. Caracterização de Argamassas no Estado Fresco: Peculiaridades na Análise de Argamassas Industrializadas. **I Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**, Goiânia, 1995. Anais. p. 53-62.