



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RICARDO NÓBREGA DE ANDRADE LAURENTINO**

**ESTUDO DA ARGAMASSA ESTABILIZADA PARA ASSENTAMENTO COM  
ADIÇÃO MINERAL DE METACAULIM**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2019**

**RICARDO NÓBREGA DE ANDRADE LAURENTINO**

**ESTUDO DA ARGAMASSA ESTABILIZADA PARA ASSENTAMENTO COM  
ADIÇÃO MINERAL DE METACAULIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Aline Figueiredo Nóbrega de Azerêdo - UFCG

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2019**

**RICARDO NÓBREGA DE ANDRADE LAURENTINO**

**ESTUDO DA ARGAMASSA ESTABILIZADA PARA ASSENTAMENTO COM  
ADIÇÃO MINERAL DE METACAULIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Apresentado e aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Aline Figueiredo Nóbrega de Azerêdo - UFCG  
Orientadora

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marília Marcy Cabral de Araújo - UFCG  
Examinador interno

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Maria Gonçalves Duarte - IFPB  
Examinador externo

---

Eng. Pablo Ricalli Ribeiro Feitosa  
Examinador externo

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2019**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todas as bênçãos que me concedeu, por todo o seu cuidado durante toda a minha trajetória.

Aos meus pais, Dóris e Edilson, ao meu irmão Otávio, e a minha avó Dóris, por acreditarem no meu potencial, e por me possibilitarem o desenvolvimento pessoal e profissional, superando sempre todas as dificuldades para que fosse possível o meu crescimento.

À minha noiva, Vigny, que sempre esteve do meu lado, me apoiando e incentivando na concretização da minha carreira acadêmica, que sempre tentou me mostrar o melhor de mim.

Ao meu tio, Leonardo, por toda experiência e aprendizado me passado ao longo do curso.

À professora Dra. Aline Figueiredo Nóbrega de Azerêdo, que aceitou o convite de orientação neste trabalho, estando sempre disposta a me auxiliar, com bastante atenção e zelo.

À Universidade Federal de Campina Grande, por toda sua infraestrutura e corpo técnico que possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa, nos Laboratórios de Estruturas I (UAEC), Laboratório de Engenharia de Pavimentos (UAEC) e Laboratório de Caracterização de Materiais (UAEMa), em especial aos técnicos Francisco, Solange, Jadilson e o doutorando Daniel, que sempre me acompanharam e tiveram papel importante para a realização desse estudo.

À Universidade Federal da Paraíba, Laboratório de Materiais, e ao Instituto Federal da Paraíba, Laboratório de Caracterização e Desenvolvimento de Nanomateriais, por ter me auxiliado com a realização de alguns ensaios.

À empresa Supermix Concreto SA, na pessoa do Engenheiro Pablo Ricalli, que foi uma grande parceira na realização deste estudo fornecendo, além dos materiais necessários, muito conhecimento, com muita prestatividade e entusiasmo.

Às amigas que foram criadas durante toda minha formação acadêmica, em especial aos amigos Flávio, Ítalo, Paula, Raabi e Victor, por terem estado comigo nos momentos mais difíceis do curso, permitindo que todas as barreiras fossem superadas e todos os objetivos alcançados.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização e conclusão deste trabalho, e para a minha formação e crescimento profissional.

“Se o SENHOR não edificar a casa, em vão trabalham os que a edificam...”

**Salmos 127:1**

# ESTUDO DA ARGAMASSA ESTABILIZADA PARA ASSENTAMENTO COM ADIÇÃO MINERAL DE METACAULIM

LAURENTINO, Ricardo Nóbrega de Andrade<sup>1</sup>  
AZERÊDO, Aline Figueiredo Nóbrega de<sup>2</sup>

## RESUMO

A indústria da construção civil, com o passar dos anos, sofreu grandes avanços tecnológicos, na busca pela racionalização da construção. Para atingir esse objetivo, novas técnicas construtivas e novos materiais têm surgido no mercado. Dentre esses materiais pode-se destacar o surgimento das argamassas estabilizadas. Essa apresenta diversas aplicações como assentamento, revestimento de parede, piso, teto e fachadas. E tem como principal vantagem, em comparação as argamassas comuns, o fato de permanecer trabalhável e preservar suas propriedades por até 72 horas. No entanto, os estudos sobre esse tipo de argamassa, no Brasil, ainda têm sido pouco desenvolvidos, visto que é um tipo de produto ainda pouco difundido no país, principalmente por causa dos paradigmas criados sobre seus custos de produção. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar as propriedades, nos estados fresco e endurecido, das argamassas estabilizadas para 36 horas, com diferentes teores de adição mineral de metacaulim (MC) na substituição parcial do cimento, 0, 10 e 20%, com o intuito de melhorar as propriedades dessas argamassas através do uso dessas adições, que podem contribuir para redução do seu custo. Inicialmente, foi realizada a caracterização física, química e mineralógica dos materiais constituintes das argamassas estudadas. Adotou-se um traço em massa utilizado comercialmente para sua produção e se estudou suas propriedades no estado fresco e endurecido. No estado fresco, foram avaliadas a trabalhabilidade (consistência), densidade de massa e teor de ar incorporado. No estado endurecido, foram analisadas a resistência à compressão, densidade de massa aparente e absorção por capilaridade, para corpos de prova cilíndricos (5 x 10 cm), na idade de 28 dias. Observou-se que a argamassa com 10% de MC apresentou consistência semelhante às 36 horas, e às 48 horas possuiu melhor desempenho. A densidade de massa fresca e o teor de ar incorporado aumentou até 4,20% e diminuiu até 45%, respectivamente, com o maior do teor de MC. No estado endurecido, houve ganho de resistência à compressão com o aumento do teor de MC, onde a amostra com 10% apresentou resultados satisfatórios ao longo de todo seu tempo de estabilização.

**Palavras-chave:** Argamassa estabilizada. Adição mineral. Metacaulim.

---

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Civil – UFCG, e-mail: ricardo.11.laurentino@gmail.com

<sup>2</sup> Professora Orientadora do Curso de Engenharia Civil – UFCG

# STUDY OF STABILIZED MORTAR FOR SETTING WITH MINERAL ADDITION OF METAKAOLIN

LAURENTINO, Ricardo Nóbrega de Andrade<sup>1</sup>  
AZERÊDO, Aline Figueiredo Nóbrega de<sup>2</sup>

## ABSTRACT

The construction industry, over the years, has undergone great technological advances, in the search for the rationalization of construction. To achieve this goal, new constructive techniques and new materials have appeared in the market. Among these materials it is possible to highlight the appearance of stabilized mortars. This presents several applications such as laying, wall covering, flooring, ceiling and facades. And it has as main advantage, compared to ordinary mortars, the fact of remaining workable and preserve its properties for up to 72 hours. However, the studies on this type of mortar in Brazil have still been underdeveloped, since it is a type of product still not very widespread in the country, mainly because of the paradigms created on its costs of production. In this sense, the present study has as objective to evaluate the properties in the fresh and hardened conditions of the mortars stabilized for 36 hours, with different contents of metakaolin (MK) mineral addition in the partial replacement of the cement, 0, 10 and 20%, with the purpose of improving the properties of these mortars through the use of these additions, which can contribute to reduce its cost. Initially, the physical, chemical and mineralogical characterization of the constituent materials of the mortars studied was performed. A mass trait used commercially for its production was adopted and its properties were studied in the fresh and hardened state. In the fresh state, the workability (consistency), mass density and air content were evaluated. In the hardened state, the compressive strength, bulk density and capillary absorption were analyzed for cylindrical specimens (5 x 10 cm) at the age of 28 days. It was observed that the mortar with 10% MK had consistency similar to 36 hours, and at 48 hours had better performance. The fresh mass density and the incorporated air content increased up to 4.20% and decreased up to 45%, respectively, with the highest MK content. In the hardened state, there was a gain of compressive strength with the increase of MK content, where the sample with 10% presented satisfactory results throughout its stabilization time.

**Keywords:** Stabilized mortar. Mineral addition. Metakaolin.

---

<sup>1</sup> Academic of the Course of Civil Engineering – UFCG, e-mail: ricardo.11.laurentino@gmail.com

<sup>2</sup> Civil Engineering Course Tutor – UFCG

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do planejamento experimental.....	29
Figura 2 - Granulometria do agregado miúdo .....	32
Figura 3 - Granulometria do CP V .....	32
Figura 4 - Granulometria do MC .....	33
Figura 5 - Envolvimento dos moldes e corpos de prova com papel alumínio para determinação da atividade pozolânica com cal.....	34
Figura 6 - Cura inicial (A) e cura final (B) para os corpos de prova para determinação da atividade pozolânica com cimento .....	34
Figura 7 - Difração de raios-x do CP V.....	35
Figura 8 - Difração de raios-x do MC .....	36
Figura 9 - Preparação das amostras de argamassa.....	37
Figura 10 - Armazenamento das amostras de argamassas ensaiadas .....	37
Figura 11 - Materiais utilizados no ensaio da mesa de consistência .....	38
Figura 12 - Determinação da densidade de massa.....	39
Figura 13 - Cura inicial dos corpos de prova.....	39
Figura 14 - Cura final dos corpos de prova .....	40
Figura 15 - Ensaio de resistência à compressão simples .....	40
Figura 16 - Ensaio de densidade de massa aparente.....	41
Figura 17 - Ensaio de absorção por capilaridade.....	42
Figura 18 - Curva de espalhamento <i>versus</i> Tempo de estabilização da argamassa com substituição parcial do cimento pelo MC .....	43
Figura 19 - Amostra com 20% de MC às 48 horas de estabilização .....	44
Figura 20 - Variação da densidade em massa fresca e teor de ar incorporado das argamassas.....	45
Figura 21 - Resistência à compressão das argamassas estabilizadas aos 28 dias.....	46
Figura 22 - Densidade de massa endurecida das argamassas estabilizadas aos 28 dias.....	47
Figura 23 - Absorção por capilaridade das argamassas aos 28 dias .....	48
Figura 24 - Resistência à compressão e densidade de massa endurecida em função do tempo de estabilização.....	50
Figura 25 - Resistência à compressão e absorção por capilaridade em função do tempo de estabilização.....	50
Figura 26 - Corpos de prova das argamassas após ruptura aos 28 dias.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de classificação das argamassas quanto suas funções .....	20
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da argamassa estabilizada.....	23
Tabela 3 - Materiais utilizados .....	30
Tabela 4 - Traço em massa da argamassa de referência.....	30
Tabela 5 - Ensaio para caracterização física dos materiais .....	31
Tabela 6 - Características físicas dos materiais utilizados .....	31
Tabela 7 - Composição química por fluorescência de raio-x (% em massa) do CP V e MC...	35
Tabela 8 - Dados das misturas de argamassas estudadas .....	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BSI - British Standards Institution

BET - Brunauer, Emmett e Teller

CCA - Cinza da Casca do Arroz

CP - Cimento Portland

DRX - Difração de Raio-X

IFPB - Instituto Federal da Paraíba

MC - Metacaulim

NBR - Norma Brasileira

NM - Norma Mercosul

PB - Paraíba

RCB - Resíduo de Cerâmica Branca

RPP - Resíduo do Polimento do Porcelanato

RPRC - Resíduo de Pedreira de Rocha Calcária

UFMG - Universidade Federal de Campina Grande

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

## LISTA DE SIMBOLOS

$\text{Al}_2\text{O}_3$  - Óxido de alumínio ou alumina

$\text{C}_3\text{A}$  - Aluminato de cálcio

$\text{C}_4\text{AF}$  - Ferro-aluminato de cálcio

$\text{CaO}$  - Óxido de cálcio

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  - Hidróxido de cálcio

$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$  - Brownmillerita

$\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$  - Silicato de cálcio

$\text{CO}_2$  - Dióxido de Carbono

$\text{C}_3\text{S}$  - Silicato tricálcico

cm - Centímetros

$\text{cm}^2$  - Centímetros quadrados

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  - Óxido de ferro III ou hematita

$\text{kg/m}^3$  - Quilograma por metro cúbico

$\text{K}_2\text{O}$  - Óxido de potássio

$\text{MgO}$  - Óxido de magnésio

mm - Milímetro

$\text{MnO}$  - Óxido de manganês

MPa - Megapascal

pH - Potencial hidrogeniônico

$\text{SiO}_2$  - Dióxido de silício ou sílica

$\text{SO}_3$  - Trióxido de enxofre

$\text{SrO}$  - Óxido de estrôncio

$\text{TiO}_2$  - Dióxido de titânio

$\gamma$  - Peso específico

$\mu\text{m}$  - Micrometro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	16
2.1 ARGAMASSAS.....	17
2.1.1 Materiais constituintes .....	17
2.1.2 Classificação das argamassas.....	20
2.1.3 Argamassa estabilizada.....	21
2.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA .....	24
2.2.1 Estado Fresco .....	24
2.2.2 Estado Endurecido .....	25
2.3 ADIÇÕES MINERAIS EM ARGAMASSAS .....	26
2.3.1 A Incorporação de Metacaulim em Argamassas.....	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	29
3.1 MATERIAIS .....	29
3.1.1 Argamassa Estabilizada .....	30
3.2 MÉTODOS.....	30
3.2.1 Caracterização dos materiais de partida.....	30
3.2.1.1 <i>Características físicas</i> .....	30
3.2.1.2 <i>Características químicas</i> .....	34
3.2.1.3 <i>Características mineralógicas</i> .....	35
3.2.2 Dosagem da argamassa .....	36
3.2.3 Argamassa Estabilizada .....	36
3.2.3.1 Propriedades no Estado Fresco .....	37
3.2.3.2 Propriedades no Estado Endurecido .....	39
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	43
4.1 ESTADO FRESCO .....	43
4.1.1 Trabalhabilidade.....	43
4.1.2 Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado.....	45
4.2 ESTADO ENDURECIDO .....	46

4.2.1 Resistência mecânica .....	46
4.2.2 Densidade de massa aparente.....	47
4.2.3 Absorção por capilaridade.....	48
4.2.4 Análise conjunta dos dados das argamassas no estado endurecido .....	49
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>58</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a construção civil vem promovendo constantes avanços tecnológicos, e cada vez mais tem mostrado a necessidade da racionalização dos processos construtivos afim de melhorar sua eficiência. Dentre esses avanços, pode-se relacionar o surgimento, em meados dos anos 50, da argamassa industrializada, dosada em central, sendo adicionado água apenas no canteiro de obras (BELLEI *et al*, 2015), garantido a qualidade do produto final bem como uma obra mais “limpa”.

Com o passar dos anos, os avanços tecnológico e intelectual permitiram o desenvolvimento da argamassa estabilizada. Essa, por sua vez, é completamente fabricada na usina, com um rígido controle de qualidade, e é preparada de acordo com a necessidade do cliente para os diferentes tipos de aplicação e períodos de conservação.

A argamassa estabilizada tem como principal propriedade se manter trabalhável até 72 (setenta e duas) horas para posterior aplicação, conseqüentemente ocorrerá o aumento da produtividade em obra. Isso é possível devido a utilização de aditivos estabilizadores, dosados à mistura de modo que atendam à necessidade pré-estabelecida. Alguns benefícios são visíveis em obras que utilizam este sistema, dentre eles pode-se citar: limpeza e organização (já que sua utilização evita a estocagem e manuseio de cimento, areia e cal na própria obra); agilidade e praticidade de manuseio; melhor homogeneidade (resultando em melhor acabamento); maior precisão do custo da argamassa; entre outros (MARCONDES, 2009).

Além do uso desses aditivos, é imprescindível a utilização de outros mecanismos para que a estabilização da argamassa seja garantida por todo o período de tempo previsto. Dentre esses mecanismos estão: o armazenamento da argamassa recebida pela usina, em locais devidamente impermeabilizados; e, para as argamassas estabilizadas para um longo período de tempo – que não serão usadas de imediato, após o recebimento da mesma – torna-se necessário o uso de uma película de água sobre a argamassa. Esses artifícios são de vital importância para que o funcionamento do aditivo seja assegurado, permitindo assim que a argamassa não perca água até sua aplicação.

A estabilidade na qualidade dessa argamassa somada aos diversos benefícios citados anteriormente deixam evidente o grande potencial que esse produto possui para a sua utilização na Construção Civil, nas mais distintas aplicações, como por exemplo: em revestimentos e assentamento de alvenaria de vedação.

Entretanto, a abordagem do desenvolvimento sustentável tem se mostrado cada vez mais presente e necessária para prática da engenharia na atualidade. A indústria da construção civil é considerada a maior consumidora de matérias-primas naturais, possuindo assim grande influência na degradação do meio ambiente (SANTOS, 2008). Ademais, a produção do cimento causa um alto impacto ambiental, também devido à grande emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Visando minimizar esse impacto causado pela construção civil, considerando os conceitos de responsabilidade ambiental e sustentabilidade, têm surgido, nas últimas décadas, diversos estudos que buscam a melhoria das características dos produtos fornecidos para o mercado da construção, com base na utilização de resíduos.

Uma forma encontrada para essa utilização é a substituição parcial do cimento nas produções de concretos e argamassas. Podendo oferecer, além da vantagem ambiental, vantagens econômicas, pois o clínquer (matéria-prima para cimento após moagem) é considerado um produto nobre, e pode ser substituído parcialmente por subprodutos, oriundos, em sua grande maioria, de resíduos agroindustriais (GOBBI, 2014).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a influência da adição de metacaulim nas propriedades de argamassas estabilizadas para assentamento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os materiais constituintes da argamassa;
- Avaliar diferentes teores da adição de metacaulim na composição das argamassas; e
- Avaliar as propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

É evidente, nos tempos atuais, o desenvolvimento de inúmeros métodos e sistemas construtivos para obter aumento da produtividade, garantia de qualidade, redução de desperdício e otimização de custos na construção civil. A utilização da argamassa estabilizada

tem apresentado desempenho satisfatório nas suas diversas aplicações. Essa tem ganhado cada vez mais espaço no mercado da construção, e está diretamente ligada à busca pela industrialização do processo construtivo.

Além disso, tem se procurado, cada vez mais, aliar esse crescimento com práticas sustentáveis que possibilitem a preservação do meio ambiente. Podendo, além disso, trazer benefícios econômicos e técnicos para esse produto. Por ser considerada ainda recente no mercado, são poucos os estudos sobre o comportamento dessa argamassa. Ainda não é sabido a influência do uso de adições minerais na dosagem e propriedades dessas argamassas. Essas adições são comumente utilizadas em argamassas e concretos, com o intuito de reduzir os custos de suas produções, aprimorar seus desempenhos e preservar o meio ambiente.

A otimização do processo construtivo quando combinado com a sustentabilidade, pode garantir não só a redução do impacto ambiental promovido pela construção civil, mas também pode oferecer melhorias para a qualidade do produto. Assim, buscando estudar o desempenho das argamassas estabilizadas com adições minerais de metacaulim, o trabalho irá verificar a viabilidade quanto ao seu uso para argamassas de assentamento.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Segundo Jacoski, Costella e Rigon (2014), o avanço tecnológico tem ficado cada vez mais evidente na construção civil, em virtude da busca pela melhoria na qualidade, produtividade e redução de custos, sob um aspecto de extrema competitividade na mesma. Assim, a inovação tem um papel importante como estratégia de diferenciação em termos de mercado. No âmbito nacional é notório o amplo aprimoramento da argamassa durante toda a trajetória histórica de desenvolvimento técnico-científico pela qual passou e continua passando.

A argamassa é um material de construção bastante usado na construção civil, com diversas aplicabilidades. Dentre elas estão: assentamento de alvenarias, revestimento, assentamento de peças cerâmicas, regularização de superfícies, entre outras. De acordo com Steil (2003), a racionalização do processo construtivo possibilitou o crescimento da utilização de argamassas de cimento Portland com aditivos, na forma de argamassas industrializadas prontas para o uso.

De acordo com Paulo (2006), entre 1950 e 1960, com a nova indústria de construção, e sua maior exigência em qualidade e rapidez na execução, começaram a ser produzidas argamassas secas dosadas em central, prontas para aplicar, e conhecidas como Argamassas Industrializadas. E apenas na década de 70, no centro da Europa, começaram a ser utilizadas argamassas preparadas em centrais, e transportadas para a obra através de caminhão betoneira, conhecidas como Argamassas Estabilizadas (PAULO, 2006).

Sendo recebida no canteiro de obras com a consistência desejada, essa argamassa apresenta aditivos inibidores de hidratação e incorporadores de ar que permitem sua utilização durante longos períodos de tempo e, uma vez aplicada, exibe comportamento semelhante ao das argamassas convencionais (MACIOSKI, 2014).

Conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013), a classificação dada à argamassa estabilizada pode ser detalhada da seguinte forma:

- Argamassa hidráulica: preparada com aglomerantes hidráulicos;
- Argamassa de cimento: sendo o cimento seu único aglomerante;
- Argamassa simples: preparada com um único aglomerante;
- Argamassa dosada em central: cujo materiais constituintes são medidos e misturados em central dosadora, fornecida no estado fresco, pronta para uso.

Ademais, segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), a argamassa a ser estudada neste trabalho também pode ser considerada uma argamassa aditivada, sendo suas propriedades no estado fresco ou endurecido melhoradas por aditivo(s). E, devido a utilização do metacaulim na substituição parcial do cimento em algumas das amostras estudadas, essa argamassa pode ser classificada como argamassa mista, ainda de acordo com a norma, por ser preparada com mais de um aglomerante.

## 2.1 ARGAMASSAS

De acordo com Petrucci (1993) e Carasek (2007), a argamassa é o nome dado a uma mistura homogênea com um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água. Podendo conter ainda aditivos e adições minerais com a finalidade de melhorar ou conferir algumas propriedades ao conjunto.

Segundo Jeziorski (2018), os materiais constituintes das argamassas e suas devidas proporções possuem grande influência nas propriedades e características das argamassas. Por isso, se faz necessário conhecer a função de cada um destes materiais para que seja possível obter um produto de qualidade através de uma dosagem adequada.

### 2.1.1 Materiais constituintes

A argamassa convencional é composta por: cimento (aglomerante hidráulico ou filer da mistura); cal (aglomerante aéreo da mistura); areia (agregado miúdo utilizado na mistura); e água. As proporções desses componentes são determinantes para as propriedades das argamassas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Sendo os materiais constituintes detalhados, brevemente, a seguir.

#### a) Cimento Portland

Segundo Maccari (2012), o cimento Portland é um pó fino que, em contato com a água, tem a característica de unir firmemente diversos tipos de materiais de construção. E na função de aglomerante, em algumas argamassas, o cimento é responsável pela ligação das partículas soltas da massa, e conseqüentemente tem grande influência em suas propriedades mecânicas. O autor ainda enfatiza a importância deste material obedecer às respectivas normas técnicas, tenha correta armazenagem e esteja dentro do prazo de validade, para que sua ação seja eficaz.

O cimento Portland é de origem mineral, produzido pela calcinação de misturas de argila e calcário submetidas à alta temperatura, denominadas “clínquer” mais adições. As adições mais comuns são: escória de alto-forno, materiais pozolânicos, gesso e materiais carbonáticos (FERREIRA, 2016).

O cimento contribui com a trabalhabilidade e retenção de água das argamassas, devido a sua finura e superfície específica, além de proporcionar resistência à essas e o aumento da capacidade de aderência (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002). De acordo com os autores, quanto maior a superfície específica do cimento utilizado, mais ele terá potencial de tornar as argamassas mais trabalháveis e com maior retenção. Por outro lado, o excesso de cimento ocasiona o aumento exagerado da retração da argamassa, influenciando negativamente a durabilidade da aderência (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

b) Cal Hidratada

Segundo Sabbatini (1998), Amthauer (2001) e Casali (2008), a cal, sendo o aglomerante aéreo, é de grande importância na composição da argamassa. Suas funções básicas são: melhoria nas condições de trabalhabilidade, devido ao aumento da coesão e plasticidade; aumento da retenção de água; diminuição da retração por secagem; e aumento da aderência.

O CaO (óxido de cálcio) obtido pelo processo de calcinação é denominado “cal virgem”. A técnica industrial utilizada para hidratação se dá pela adição de água à cal virgem, formando a cal hidratada ou hidróxido de cálcio. A hidratação também pode ser feita no canteiro de obras e denomina-se extinção da cal (AMTHAUER, 2001). Ainda de acordo com o autor, essa técnica é realizada com água em excesso, assegurando uma completa hidratação dos seus óxidos. Ele afirma que, em geral, o desempenho da cal extinta em obra é superior à cal hidratada em fábrica, com relação à forma de uso e à hidratação dos óxidos de cálcio e magnésio.

Geralmente, a cal não é utilizada em argamassas estabilizadas pois nessas já são utilizados aditivos incorporadores de ar que são responsáveis por promover melhorias na trabalhabilidade e no acabamento das misturas, que são alguns dos benefícios possibilitados pela cal (MATOS, 2013).

c) Areia

Segundo Casali (2008), a areia, sendo o agregado miúdo, atua como componente inerte na mistura, diminuindo o consumo de aglomerantes, aumentando o seu rendimento ou

reduzindo o custo da argamassa. Além disso, minora os efeitos negativos gerados pelo excesso de cimento.

Pode ter obtenção natural, onde é conseguida por dragagem dos rios ou escavações do solo, ou pode ser artificial, sendo obtida por processo de produção manual, manipulado pelo homem, ou mecânica, por redução de tamanho de pedras grandes com o uso de britadores (PEDROSO, 2001 apud AMTHAUER, 2001). É empregado, com maior frequência, a areia extraída do leito de rio.

A escolha de uma areia adequada para a confecção de argamassas deve ser uma opção preponderantemente técnica, pois a areia é um componente essencial para a mistura e possui grande influência nas propriedades das argamassas que interferem fortemente no desempenho da alvenaria estrutural, como: trabalhabilidade, capacidade de aderência e resiliência (SABBATINI, 1998).

Além disso, Sabbatini (1998) resume as características das areias, importantes para seu estudo, em: composição mineralógica e granulometria. A primeira delas se refere a origem da areia, que determinará a presença ou não de siltes e argilominerais. Já a granulometria interfere nas propriedades das argamassas de acordo com os tipos de minerais presentes e as dimensões de suas partículas. Assim, o autor mostra a necessidade de estudar individualmente as areias utilizadas em argamassas, para a determinação das interferências causadas nas propriedades dessas por um certo tipo de areia, não admitindo assim generalizações.

d) Água

Conforme a norma NBR 8798 (ABNT, 1985), são tidas como satisfatórias as águas potáveis e as que tenham pH entre 5,8 e 8,0. Existem alguns limites, conforme essa norma, para a água destinada ao amassamento da argamassa e do graute, que deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas.

e) Aditivos

Conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013), aditivos são produtos que são adicionados à mistura da argamassa, em pequena quantidade, para melhorar uma ou mais propriedades nos estados fresco ou endurecido.

Os principais aditivos para argamassas, conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013), são:

- Retentor de água: capaz de reduzir a evaporação e exsudação de água da argamassa fresca e conferir a capacidade de retenção de água em relação à sucção da base;
- Incorporador de ar: forma microbolhas de ar distribuídas na argamassa, capazes de melhorar a sua trabalhabilidade;
- Retardador de pega: retarda a hidratação do cimento, proporcionando um maior tempo de utilização;
- Aumentador de aderência: capaz de proporcionar aderência química ao substrato; e
- Hidrofugante: reduz a absorção de água por capilaridade.

### 2.1.2 Classificação das argamassas

Segundo Carasek (2007), há diversos critérios que levam a classificação das argamassas, entre eles estão: a natureza, tipo e número de aglomerante; a consistência e plasticidade; a densidade de massa, a forma de preparo ou fornecimento e sua aplicação.

Além disso, o autor classifica as argamassas de acordo com sua aplicação, como: para alvenarias; revestimento de paredes, tetos e pisos; revestimento cerâmicos; e para recuperação de estruturas. A Tabela 1 expõe esses critérios de classificação.

Tabela 1 - Critérios de classificação das argamassas quanto suas funções

<b>Função</b>	<b>Tipo</b>
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento
	Argamassa fixação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa de revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa contra piso
	Argamassa alta resistência para piso
Para revestimento cerâmicos	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas-colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

**FONTE:** Carasek (2007).

Esse trabalho teve como enfoque a utilização da argamassa para o assentamento de alvenaria. E, de acordo com a CP – 121-1:1973, da Walling British Standards Institution (BSI) apud Sabbatini (1998), as suas principais funções são:

- Unir solidamente os blocos ou tijolos de alvenaria e contribuir para a resistência da parede quando submetida a esforços laterais;
- Distribuir de modo uniforme as cargas atuantes na parede ao longo da área resistente dos componentes de alvenaria;
- Absorver as deformações de causa natural a que a alvenaria estiver sujeita;
- E vedar as juntas da alvenaria combatendo a penetração de água de chuva.

Ainda segundo Sabbatini (1998) apud Casali (2008), para que a argamassa tenha a capacidade de desempenhar as funções citadas anteriormente, deve apresentar as seguintes características:

- Possuir a trabalhabilidade necessária para que o pedreiro produza com rendimento, rapidez e economia;
- Ter capacidade de retenção de água suficiente para apresentar bom funcionamento mesmo em situações que o extrato utilizado apresente uma elevada capacidade de sucção da água;
- Adquirir de forma rápida uma resistência inicial, depois de assentada, que permita resistir a esforços atuantes durante a construção;
- Atingir resistência adequada para garantir o desempenho da alvenaria em que será utilizada. Contudo, não pode possuir resistência maior do que as unidades de alvenaria que ela une;
- Ter adequada aderência aos componentes assegurando a resistência da parede aos esforços cisalhantes e de tração, e prover a estanqueidade das juntas da alvenaria contra a água da chuva;
- Possuir durabilidade que possibilite o bom funcionamento da construção como um todo;
- E ter resiliência suficiente (baixo módulo de deformação) para acomodar as deformações intrínsecas, como por exemplo a retração, e as decorrentes de movimentos estruturais de pequena amplitude da parede de alvenaria, sem fissurar.

### 2.1.3 Argamassa estabilizada

A argamassa estabilizada começou a ser produzida na década de 70 na Alemanha Ocidental, segundo Mann Neto, Andrade e Soto (2010). Nesse período iniciou-se o

fornecimento de argamassa fresca às grandes obras, em recipientes abertos, na consistência desejada, e prontas para serem utilizadas, podendo preservar suas características por até três dias.

Ainda de acordo com os autores, as argamassas dosadas em central, no Brasil, começaram a ser estudadas ao final da mesma década de 1970. Com a crise no setor da Indústria da Construção Civil que se alastrou pela Europa, Estados Unidos e Brasil, que promoveu uma baixa na produção de concreto usinado, surgiu a necessidade de ampliar a área de especialização dessas centrais. Como uma saída para essa crise, as empresas passaram a estudar fortemente as argamassas dosadas em central, obtendo inúmeros resultados satisfatórios.

Entretanto, quando a crise no mercado de concreto usinado se equilibrou, as pesquisas para a fabricação de argamassa dosada em central foram cessadas. E a produção dessa argamassa foi praticamente abandonada. De acordo com Martins Neto e Djanikian (1999), com a realização de pesquisas junto às construtoras, foi possível verificar que essas não possuíam conhecimento sobre as vantagens do uso da argamassa dosada em centrais concretreiras, uma vez que os contratos eram fechados por preço unitário, não havendo assim interesse por parte dos empreiteiros em apresentar os benefícios que essas argamassas poderiam trazer para os construtores. Assim, prevalecia o uso da argamassa convencional, com características bastante definidas e consagradas no conhecimento prático e técnico, até então.

Contudo, em meado da década de 1980, com a perspectiva de crescimento do desenvolvimento da Indústria da Construção Civil, obras de médio e grande portes buscaram uma nova metodologia para a produção de argamassas, permitindo uma reabertura do mercado para a produção da argamassa dosada em central (MARTINS NETO e DJANIKIAN, 1999).

Paralelamente, teve início uma fase de estudos e pesquisas laboratoriais nas Centrais Concretreiras, para que testes fossem realizados nas próprias centrais, a fim de que pudessem suprir uma necessidade prática das obras, mas com a confiabilidade de uma tecnologia presente e acompanhada, onde se desenvolveu com mais intensidade a argamassa dosada em central. As argamassas de revestimento externo dosadas em central tiveram seu início na Grande São Paulo nos meados da década de 1980, mais precisamente 1985 (MARTINS NETO e DJANIKIAN, 1999, p.10).

A argamassa de revestimento externo dosada em central passou a ter forte adesão na Indústria da Construção Civil, atendendo às necessidades dos grandes construtores, em curto espaço de tempo, o que lhes proporcionou vantagens operacionais associadas à segurança da técnica assistida e à responsabilidade compartilhada. Consequentemente, esses fatos possibilitaram a aceleração de processos construtivos de grande porte e permitiram um incremento no setor de grandes construções.

De acordo com Matos (2013), este tipo de argamassa já é bastante utilizado em diversas aplicações da construção civil, tais como revestimento, regularização de pisos e assentamento de alvenaria de vedação.

Segundo o autor, a composição das argamassas estabilizadas é semelhante às argamassas preparadas na obra e às industrializadas. Entretanto, a cal hidratada, que é comumente utilizada nessas argamassas como aglomerante aéreo, é dispensada na argamassa estabilizada, e são utilizados, por sua vez, aditivos incorporadores de ar, visando melhorar a trabalhabilidade e acabamento das misturas.

Além disso, ainda conforme o autor, a maior diferença entre a argamassa estabilizada e as demais é o uso de aditivos estabilizadores de hidratação. Segundo Hartmann *et al* (2011), esses aditivos atuam principalmente no controle da hidratação do silicato tricálcico ( $C_3S$ ), promovendo moderada manutenção da consistência e retardo de pega. Contudo, para os autores, quando utilizados em excesso, o atraso da pega passa a ser imprevisível, podendo ocorrer inibição demasiadamente prolongada da hidratação ou pega instantânea ocasionado pela ativação em excesso do  $C_3S$ .

Como mostrado anteriormente, a argamassa estabilizada foi desenvolvida para revolucionar a maneira de produção e utilização da argamassa, se adequando à necessidade da industrialização do processo construtivo. Avaliando a viabilidade do uso dessa argamassa, Hermann e Rocha (2013) e Matos (2013) apontam algumas de suas vantagens e desvantagens, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da argamassa estabilizada

Vantagens	Desvantagens
Aumento do rendimento	
Redução de perdas	
Limpeza da obra	Planejamento preciso da quantidade
Regularidade do traço	Tempo para adquirir rigidez
Responsabilidade da dosagem dividida	Variação ao longo do tempo
Melhora da logística	Tempo para desempenho
Reduz demanda de mão de obra	
Maior precisão no custo	

**FONTE:** Hermann e Rocha (2013) e Matos (2013).

Macioski (2014) afirma que grande parte dos estudos sobre as argamassas estabilizadas abordam os aspectos de sua viabilidade para os diversos usos, e, de acordo com o autor, ainda são poucos os estudos existentes sobre essa argamassa que se aprofundam em aspectos técnicos de avaliação do material e de estudos de dosagem.

## 2.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

As propriedades da argamassa podem ser diferenciadas de acordo com o seu estado, fresco ou endurecido.

### 2.2.1 Estado Fresco

De acordo com Martins Neto, Andrade e Soto (2010), a argamassa está em seu estado fresco no período desde a mistura de aglomerante e agregados com a água até o início das reações de pega. O desempenho das argamassas no estado fresco está intimamente ligado aos materiais empregados, ao traço utilizado, à mistura, ao tipo de transporte e também à sua forma de aplicação. Para o assentamento, as argamassas, neste estado, são avaliadas quanto à trabalhabilidade, retenção de água, teor de ar incorporado e massa específica, adesão inicial e deformabilidade da junta fresca. Entretanto neste trabalho só foi abordado a trabalhabilidade, massa específica e teor de ar incorporado. Essas propriedades serão descritas a seguir:

#### a) Trabalhabilidade

Segundo Carasek (2007), a trabalhabilidade determina a facilidade com que a argamassa no estado fresco pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada, em condições homogêneas. Está ligada à relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia e granulometria do agregado. A trabalhabilidade é considerada como conjunto de várias outras propriedades, como: consistência, plasticidade, coesão, exudação e massa específica.

#### b) Massa específica e Teor de ar incorporado

Segundo Carasek (2007), a massa específica da argamassa é uma relação entre a massa e o volume do material, e está diretamente ligado ao teor de ar incorporado e às massas específicas de seus materiais constituintes, principalmente dos agregados, por serem utilizados em maiores proporções. O autor ainda enfatiza que a massa específica da argamassa no estado endurecido é um pouco menor que no estado fresco, devido à saída de parte da água. O teor de ar incorporado, por sua vez, é a quantidade de ar retido em uma argamassa, no estado fresco. E, de acordo com Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002), para argamassas convencionais, o teor de ar incorporado menor do que 10% não influencia negativamente nas propriedades da

argamassa de assentamento, na resistência à compressão e na extensão de aderência entre a junta de argamassa e o bloco.

### 2.2.2 Estado Endurecido

Segundo Mann Neto, Andrade e Soto (2010), o estado endurecido é aquele em que a argamassa já ultrapassou a idade necessária para lhe conferir resistência mecânica suficiente para resistir a esforços. As argamassas de assentamento, neste estado, são avaliadas quanto à resistência à compressão e ao módulo de deformação. Apenas a primeira foi abordada neste estudo, e foram avaliadas também a densidade de massa endurecida e a absorção por capilaridade. Essas propriedades serão descritas a seguir:

#### a) Resistência à compressão

De acordo com Sabbatini (1998), a resistência necessária para uma argamassa ser empregada no assentamento de blocos de alvenaria estrutural está diretamente ligada à resistência à compressão desses blocos, para que seja garantido o bom desempenho da alvenaria. A resistência da argamassa pode ser influenciada de acordo com o substrato a ser aplicado, onde a perda de água antes do início de pega irá afetar negativamente em seu resultado (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2002). Assim, os autores afirmam que a resistência obtida em laboratório através moldes metálicos não absorventes não representam a real resistência das argamassas aplicadas em assentamento de blocos de concreto, por exemplo, sendo esses caracterizados por um substrato poroso e absorvente.

#### b) Densidade de massa endurecida

De acordo com Nakakura e Cincotto (2004, p.16), a “densidade de massa no estado endurecido é a relação entre a massa e o volume total da argamassa após 28 dias de cura”. Para os autores, o valor obtido por essa relação é um indicativo da compacidade resultante da proporção de mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto. Além disso, pode determinar de forma indireta o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida por evaporação (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004).

c) Absorção por capilaridade

Segundo Müller e Bücher (1993) *apud* Nakakura e Cincotto (2004), a permeabilidade é influenciada pelos poros capilares de dimensões maiores que 50 nm, e pelas bolhas de ar incorporado, que podem chegar a até 3 mm, que permitem a passagem de água, nos estados líquido e vapor, na argamassa endurecida. Contudo, para os autores, o prosseguimento da hidratação do aglomerante ao longo do tempo permitirá o maior grau de endurecimento da argamassa e a diminuição da sua permeabilidade com o preenchimento desses espaços vazios.

### 2.3 ADIÇÕES MINERAIS EM ARGAMASSAS

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), o termo adições se refere a materiais inorgânicos ou industriais adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades, e dentre eles podem estar: pó calcário, saibro, materiais pozolânicos, entre outros.

Atualmente, os materiais pozolânicos já se fazem presentes em grande parte dos concretos empregados no mundo, permitindo tanto a redução do impacto ambiental e econômico, quanto as melhorias relacionadas a durabilidade (GOBBI, 2014). Essas adições são comumente empregadas em argamassas e concretos, visando diminuir os custos de suas produções, aprimorar seus desempenhos e preservar o meio ambiente, aliando o crescimento da construção civil com o desenvolvimento sustentável.

Com o intuito de avaliar o desempenho e a viabilidade da adição mineral em argamassas, os autores Bezerra *et al* (2011), Melo (2017), Menezes *et al* (2009), Santos (2008) e Siqueira *et al* (2011) desenvolveram importantes estudos.

Bezerra *et al* (2011) avaliou a viabilidade da utilização da cinza da casca do arroz (CCA) em argamassas de assentamento. Com os ensaios de caracterização do CCA, pôde-se observar que o mesmo apresenta pozolanicidade. E através da substituição parcial do cimento com a adição de CCA, observou-se que: com a determinação da densidade de massa no estado endurecido ocorreu uma melhora no seu desempenho; a absorção de água diminuiu de acordo com o aumento no tempo de cura; e a resistência à compressão simples apresentou aumento no desempenho até os 63 dias de cura, após este período, aos 91 dias de cura não houve aumento significativo na resistência. Assim, foi possível constatar que a utilização da CCA em argamassas de assentamento é viável.

Melo (2017) verificou a viabilidade da utilização do resíduo de cerâmica branca (RCB) para a produção de argamassas. O estudo verificou que com o aumento do teor de RCB houve um aumento na absorção de água, no índice de vazios e na massa específica.

Menezes *et al* (2009) analisaram a viabilidade técnica e a atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para a produção de argamassas na substituição parcial do cimento. Foi verificado que a utilização do resíduo calcinado apresentou resultados satisfatórios, aumentando a resistência das argamassas após 28 dias de cura em até 150%.

Santos (2008) fez uma análise das propriedades nos estados fresco e endurecido das argamassas mistas produzidas com resíduo de pedra de rocha calcária (RPRC) e resíduo do polimento do porcelanato (RPP) na substituição parcial do cimento. Os ensaios realizados pelo autor mostraram que as amostras não apresentaram desempenho satisfatório quanto à resistência à tração na flexão, resistência à compressão e absorção de água por capilaridade.

Siqueira *et al* (2011) avaliou a possibilidade de aproveitamento do resíduo obtido a partir da combustão do carvão mineral em uma refinaria de alumina no estado do Pará. Foi feita a incorporação de cinzas volantes, como pozolana, em substituição parcial do cimento na produção de argamassas. Observou-se que o aumento do teor de cinza na mistura, foi proporcional à redução da resistência à compressão. Além disso, verificou-se que a absorção de água e porosidade aumentaram conforme o maior teor de cinza, porém, com o aumento do tempo de cura, essas sofreram reduções.

Dentre os diversos materiais pozolânicos existentes no mercado pode-se destacar o metacaulim. A utilização dessa pozolana com o cimento Portland tem sido amplamente discutida e estudada nos últimos anos, visto que o metacaulim promove diversos benefícios em matriz cimentícia (MOTA, 2015).

### 2.3.1 A Incorporação de Metacaulim em Argamassas

De acordo com Da Rocha (2005) e Medina (2011), o metacaulim é um material amorfo (de estrutura cristalina desordenada) e uma pozolana de alta reatividade, originada da calcinação do caulim, e é constituída essencialmente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), na fase amorfa. Azerêdo (2012) afirma que as características químicas, mineralógicas e físicas (finura) do metacaulim possuem grande influência na sua reatividade.

Segundo Mota (2015), esses elementos, durante o processo de hidratação do cimento Portland, são capazes de reagir com o hidróxido de cálcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] formando hidratados similares ao cimento Portland. “Essa combinação física com o cimento modifica a reologia dos

compósitos (concretos e argamassas) no estado fresco, contribuindo com as propriedades relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico” (MATOS, 2015, p.46).

Além disso, as estruturas lamelares do metacaulim tem forte ligação ao longo das camadas, contudo, essas ligações são brandas, promovendo facilidade no escorregamento entre as camadas e conseqüente melhora na trabalhabilidade das argamassas (MATOS, 2015).

Alguns autores como Barbosa, Mota e Carneiro (2006) e Mota (2015; 2016) desenvolveram alguns estudos buscando analisar o comportamento de argamassas com adição mineral de metacaulim.

Barbosa, Mota e Carneiro (2006) verificaram o uso do metacaulim em argamassas inorgânicas para serviços de restauro para edificações cinquentenárias. Em seu estudo foram realizados ensaios para verificação da capilaridade, resistência à compressão e tração aos 28 dias. Observou-se que as amostras com adição de metacaulim não obtiveram desempenho mecânico corresponde ao das argamassas de referência na idade de ensaio escolhida. Além disso, não apresentaram diferenças significativas entre os resultados das argamassas com diferentes teores de metacaulim. Entretanto, os autores apontam que, em idades mais avançadas, essas argamassas, possivelmente, passariam por melhorias significativas de suas propriedades, tendo em vista que suas reações de hidratação se processam de forma mais lenta que as do cimento Portland.

Mota (2015; 2016) avaliou o reforço de alvenaria com argamassa armada e adição de metacaulim. Observa-se no estudo, através de ensaios de resistência mecânica, módulo de elasticidade, velocidade de propagação da onda ultrassônica, absorção por imersão e ensaios acelerados de carbonatação e cloretos, que o metacaulim contribui para a durabilidade da alvenaria, mitigando substancialmente a ação de agentes deletérios.

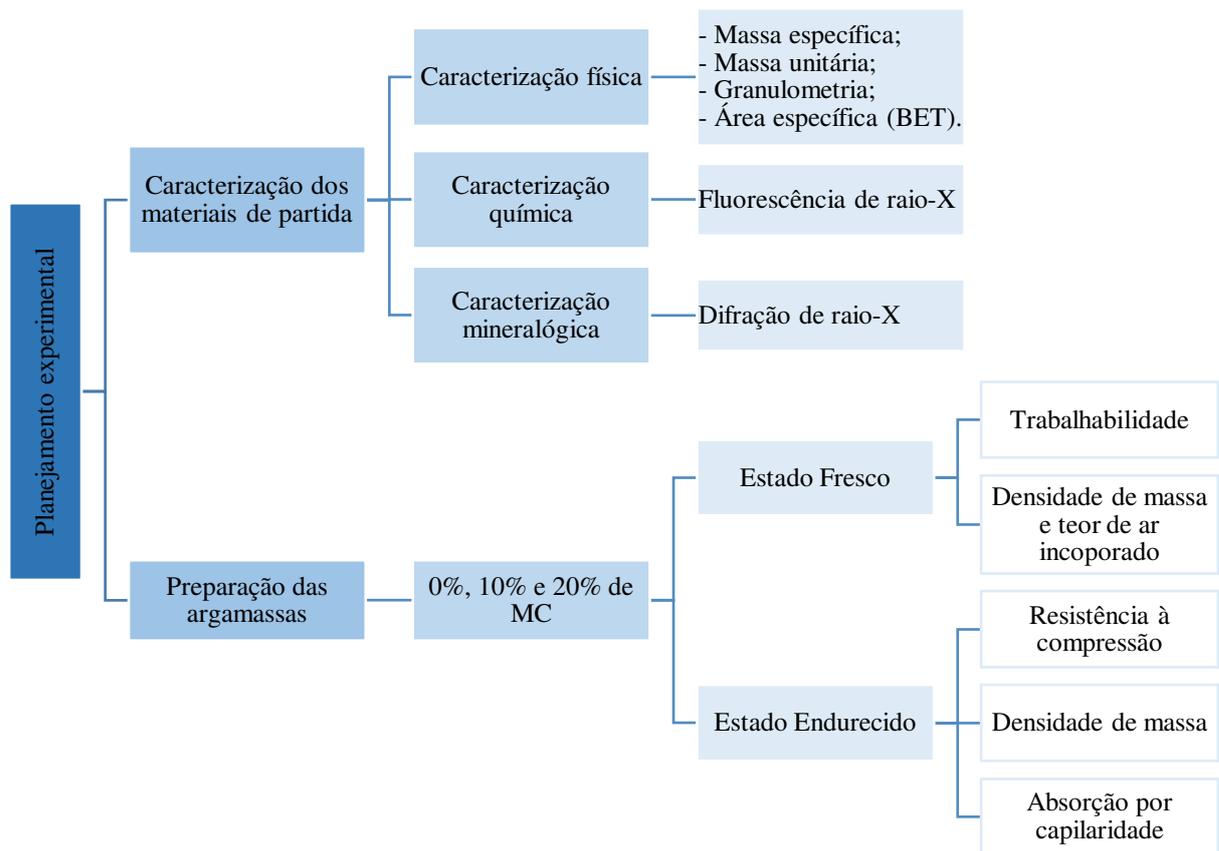
Entretanto, apesar de já existirem diversos estudos abordando o uso de adições minerais com resíduos ou materiais pozolânicos comerciais, como o metacaulim, os estudos sobre a aplicação dessas adições na composição de argamassas estabilizadas ainda são escassos. Por se tratar de um produto com bastante potencial no mercado da construção civil, e buscando a otimização de sua produção agregando a redução dos custos e a sustentabilidade, se faz necessário avaliar a viabilidade da utilização desses resíduos/materiais pozolânicos nas argamassas estabilizadas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de avaliar o desempenho de argamassas estabilizadas para assentamento utilizando a adição mineral de metacaulim (MC), foram elaboradas, em laboratório, amostras com diferentes teores de MC e a amostra de referência.

O fluxograma da Figura 1 apresenta um resumo das etapas de trabalho proposta nesta pesquisa. Esta foi dividida entre caracterização dos materiais utilizados e a preparação das argamassas para ensaio.

Figura 1 - Fluxograma do planejamento experimental



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

#### 3.1 MATERIAIS

A Tabela 3 apresentará os materiais empregados nos ensaios, bem como suas características.

Tabela 3 - Materiais utilizados

<b>Material</b>	<b>Observações</b>
Cimento Portland	CP V ARI da marca LafargeHolcin.
Agregado Miúdo	Areia natural eólica da região do município do Pedra de Fogo-PB.
Água	Proveniente da rede pública de abastecimento local.
Adição mineral	Metacaulim da marca BBM Minérios.
Plastificante Incorporador de ar	TEC-MIX da marca GCP Applied Technologies, do Tipo IA segundo a NBR 11768 (ANBT, 2011). Aspecto líquido, coloração castanho avermelhado e massa específica entre 0,99 – 1,03 g/cm <sup>3</sup> .
Retardador de pega ou inibidor de hidratação	ECO-TEC da marca GCP Applied Technologies. Aspecto líquido, coloração levemente amarelado e massa específica entre 1,10 – 1,14 g/cm <sup>3</sup> .

**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

### 3.1.1 Argamassa Estabilizada

Foi utilizado uma amostra de argamassa estabilizada, dosada para 36 horas, e utilizada para assentamento, que foi fornecido pela Supermix Concreto SA, que comercializa esse produto na cidade de Campina Grande-PB. Essas são compostas de cimento, areias, água e aditivos, nas suas devidas proporções conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Traço em massa da argamassa de referência

<b>Componente</b>	<b>Proporção</b>
Cimento Portland CP V	1,00
Agregado Miúdo	5,804
Plastificante Incorporador de ar	0,044%
Plastificante Retardador de pega	0,916%

**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

## 3.2 MÉTODOS

O procedimento de ensaio pode ser dividido em três etapas: caracterização dos materiais de partida; dosagem da argamassa estabilizada; e caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido.

### 3.2.1 Caracterização dos materiais de partida

#### 3.2.1.1 Características físicas

A caracterização física foi realizada através de ensaios de massa específica, massa unitária, área específica e granulometria. Além disso, foi verificado o índice de atividade pozolânica do metacaulim, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Ensaio para caracterização física dos materiais

<b>Materiais</b>	<b>Ensaio</b>
Cimento Portland (CP V)	- Massa específica (ABNT NBR NM 23:2001); - Área específica (BET); - Granulometria a laser.
Metacaulim (MC)	- Massa específica (ABNT NBR NM 23:2001); - Área específica (BET); - Granulometria a laser; - Índice de atividade pozolânica (ABNT NBR 5751:2015 e NBR 5752:2014).
Agregado Miúdo (Areia)	- Massa específica (ABNT NBR NM 52:2009); - Massa unitária (ABNT NBR NM 45:2006); - Granulometria (ABNT NBR NM 248:2003).

**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

A área superficial foi determinada através do método de análise de BET, feita em um equipamento de modelo BELSORP II-MINI da marca BEL JAPAN através de adsorção/dessorção de nitrogênio a 77 Kelvin. As amostras passaram por um tratamento térmico inicial a 200 °C por duas horas, em fluxo de nitrogênio, para remoção de possíveis gases adsorvidos nas amostras. Estas análises de BET foram realizadas no Laboratório de Caracterização e Desenvolvimento de Nanomateriais – IFPB, campus João Pessoa-PB. Na Tabela 6 são apresentados os dados referentes a essas características dos materiais.

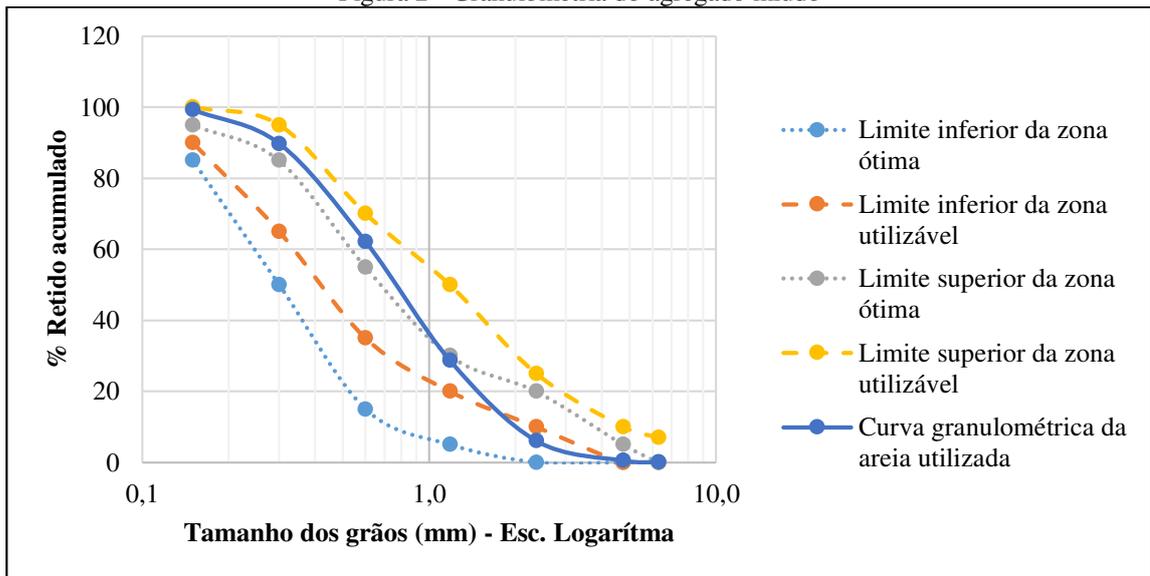
O granulômetro a laser utilizado foi o modelo CILAS 1090, e foi optado pela análise com o modo de dispersão integrada seco. Estas análises do granulômetro a laser foram realizadas no Laboratório de materiais – UFPB, campus João Pessoa-PB. Os resultados obtidos das curvas granulométricas para os materiais utilizados são apresentados nas Figuras 2, 3 e 4, e, em seguida os comentários sobre esses dados.

Tabela 6 - Características físicas dos materiais utilizados

<b>Material</b>	<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Área Específica (cm<sup>2</sup>/g)</b>
<b>CP V</b>	2,92	-	24.800,00
<b>MC</b>	2,59	-	18.300,00
<b>Areia</b>	2,62	1,67	-

**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

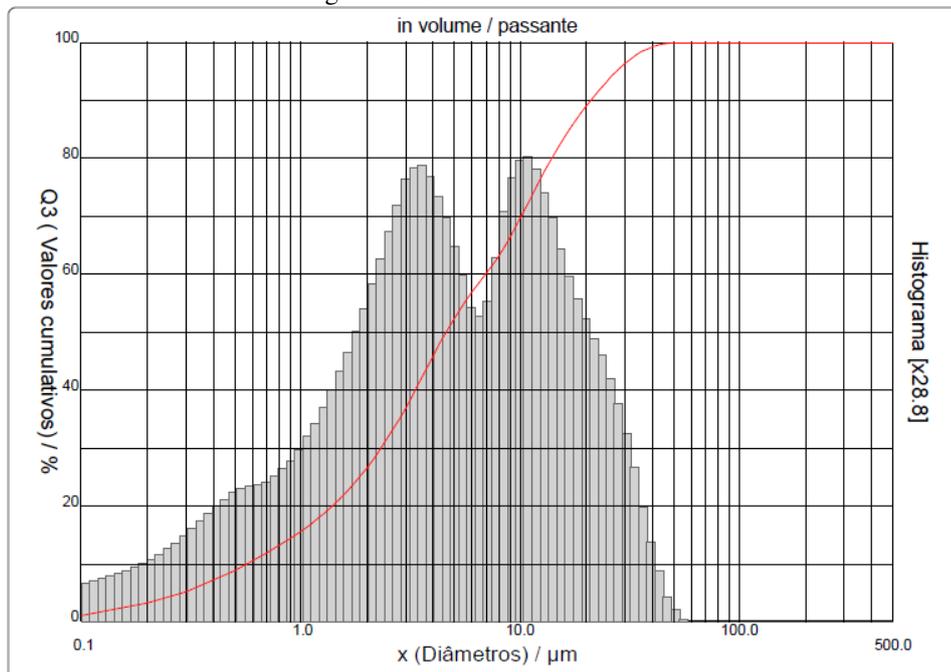
Figura 2 - Granulometria do agregado miúdo



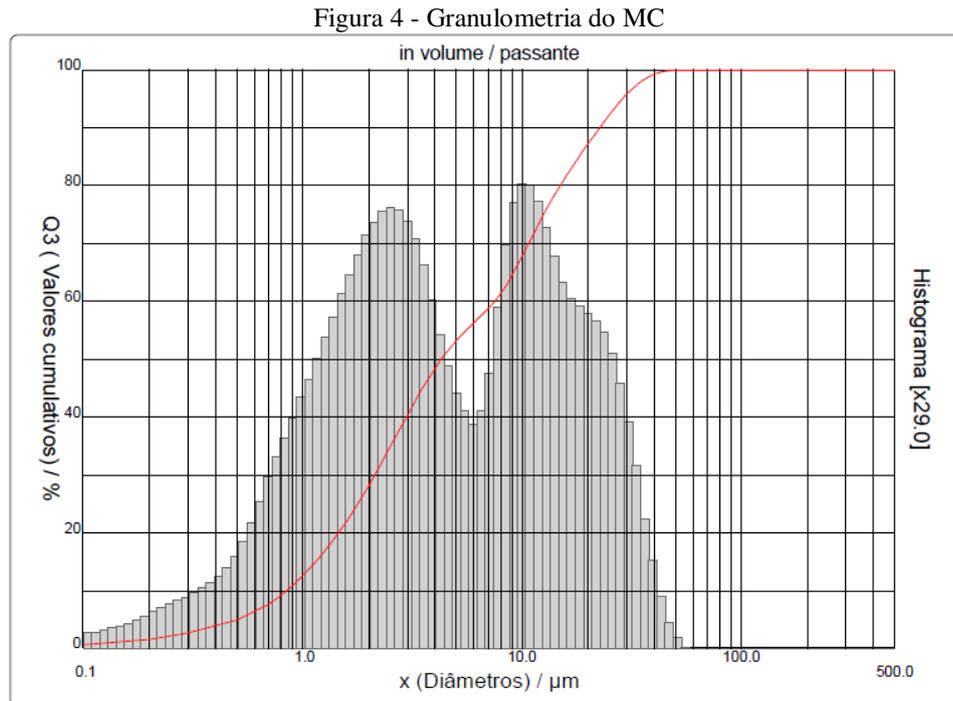
FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

A Figura 2 apresenta os limites das zonas ótima e utilizável do agregado miúdo estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005), e a distribuição granulométrica determinada para o agregado miúdo utilizado no presente estudo. Diante do exposto, pode-se observar que o diâmetro máximo para a areia utilizada é de 1,2 mm, sendo caracterizado assim como uma areia fina. E módulo de finura de 1,87, estando entres os limites da zona utilizável inferior, de acordo com esta norma.

Figura 3 - Granulometria do CP V



FONTE: Laboratório de materiais - UFPB (2019).



**FONTE:** Laboratório de materiais - UFPB (2019).

Das curvas granulométricas do CP V e MC, apresentadas nas Figuras 3 e 4, obtidas num granulômetro a laser, observa-se que as partículas de ambos apresentam tamanho máximo de aproximadamente  $50\ \mu\text{m}$ . Cerca de 80% das partículas do CP V estão compreendidas entre  $0,57\ \mu\text{m}$  e  $21,01\ \mu\text{m}$ . Já para o MC, cerca de 80% das partículas estão compreendidas entre  $0,84\ \mu\text{m}$  e  $22,66\ \mu\text{m}$ . Pode-se observar, assim, que o MC apresentou tamanhos de grãos maiores que ao do CP V. Esses dados reforçam o que já tinha sido apresentado na Tabela 6.

O índice de atividade pozolânica foi verificado com a cal e com o cimento de acordo com os procedimentos da NBR 5751 (ABNT, 2015) e NBR 5752 (ABNT, 2014), respectivamente. Para o ensaio com a cal, foram moldados três corpos de provas para a determinação da resistência média à compressão. Após a moldagem, os corpos de prova foram cobertos dentro dos moldes com papel alumínio para evitar a evaporação da água, como mostrado na Figura 5. A cura inicial se deu em temperatura ambiente (primeiras 24 horas após moldagem) e a cura final foi feita em uma câmara climática com temperatura de  $55^\circ\text{C}$  (até a idade de 7 dias). O resultado desse ensaio é a resistência à compressão na idade de 7 dias de cura, cujo valor médio determinado foi de  $7,0\ \text{Mpa}$ , conforme apresentado no Apêndice A. Podendo assim ser considerado material pozolânico de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014) sendo a resistência à compressão aos 7 dias superior a  $6,0\ \text{MPa}$ .

Figura 5 - Envolvimento dos moldes e corpos de prova com papel alumínio para determinação da atividade pozolânica com cal



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

Para o ensaio com o cimento, foram moldados três corpos de provas, para a amostra de referência e para a amostra com 25% de MC. Após a moldagem, os corpos de prova foram cobertos dentro dos moldes com sacos plásticos para manter a umidade dos mesmos. A cura inicial (A) se deu em temperatura ambiente (primeiras 24 horas após moldagem) e a cura final (B) foi feita através de imersão em água (até a idade de 28 dias), conforme a Figura 6. O índice de desempenho com cimento Portland foi de 123%, como mostrado no Apêndice B, superando os 90% exigido pela norma NBR 12653 (ABNT, 2014) para ser considerado material pozolânico.

Figura 6 - Cura inicial (A) e cura final (B) para os corpos de prova para determinação da atividade pozolânica com cimento



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

### 3.2.1.2 Características químicas

A composição química do cimento (CP V) e do MC foi determinada através de fluorescência de raios-x em um equipamento Shimadzu EDX-90, no Laboratório de Caracterização de Materiais – UFCG, campus Campina Grande-PB. Na Tabela 7 são apresentados os dados obtidos dessa análise química.

Tabela 7 - Composição química por fluorescência de raio-x (% em massa) do CP V e MC

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	SrO	outros
CP V	16,38	5,58	3,38	66,94	1,50	1,68	0,03	0,25	4,08	0,07	0,10
MC	49,74	36,74	7,24	0,57	1,63	1,83	0,04	1,71	0,23	0,02	0,25

FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

Conforme os resultados da Tabela 7, em relação à sua composição química do cimento, mostram que o teor de MgO é 1,5%, sendo menor que 6,5%, que é o limite previsto para o cimento Portland CP V-ARI conforme a NBR 5733 (ABNT, 1991).

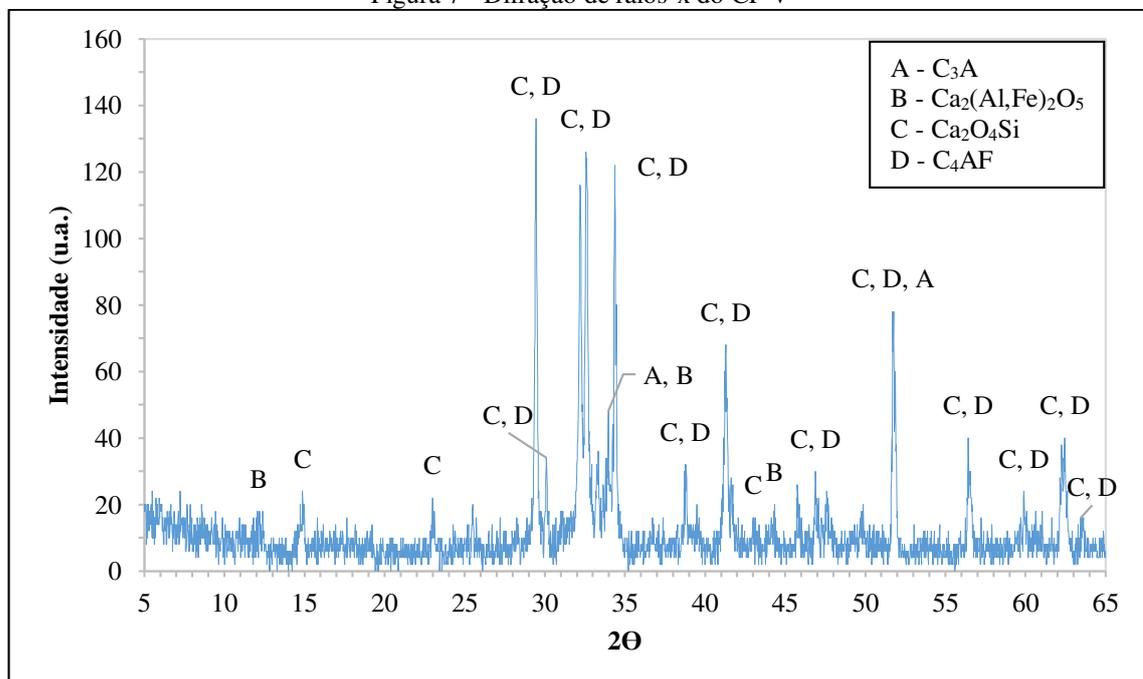
Os dados do MC mostram que os teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> somam 93,72%, sendo maior que 70%, e possui apenas 0,23% de SO<sub>3</sub>, menor que 4%, podendo assim ser considerado material pozolânico de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014).

### 3.2.1.3 Características mineralógicas

As características mineralógicas foram determinadas através das técnicas de difração de raios-x (DRX).

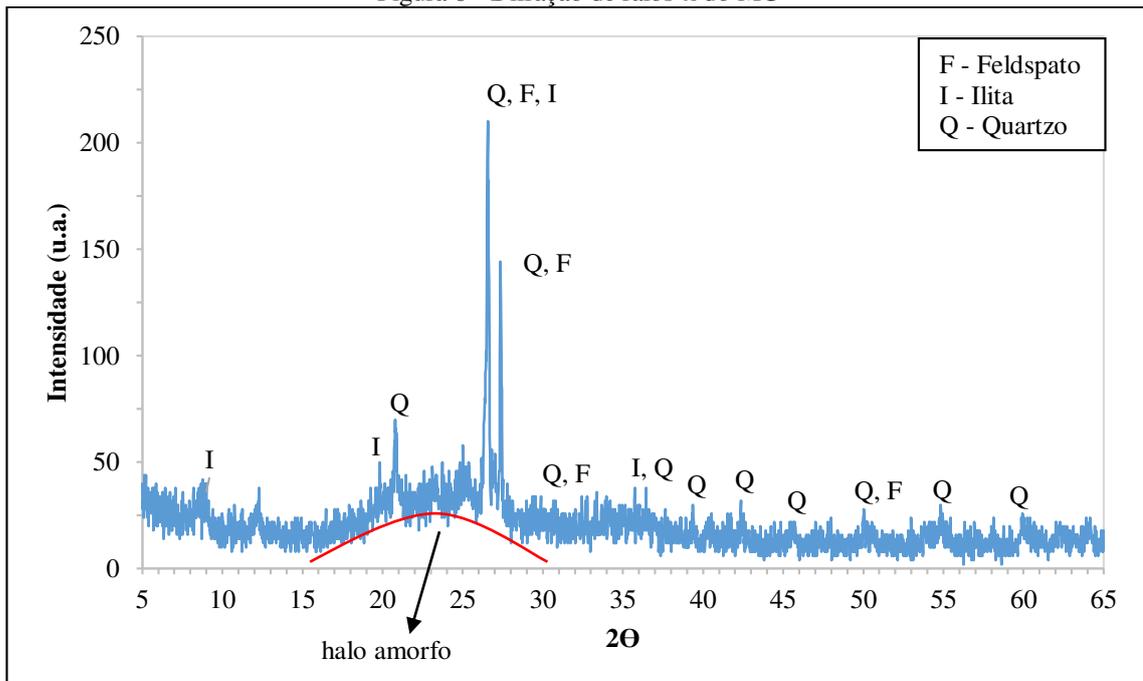
A caracterização por difração de raios-x foi realizada para o CP V e MC, em um equipamento Shimadzu modelo XRD 6000, no Laboratório de Caracterização de Materiais - UFCG, campus Campina Grande, sob as seguintes condições de ensaio: radiação Cu, com raios-x em 40kV e 30mA, velocidade de leitura de 2°/min num intervalo de 5° a 65° 2 $\theta$  a um passo angular de 0,02° 2 $\theta$ . A identificação dos picos foi feita pelo uso do software MDI JADE 5.0. Nas Figuras 7 e 8 são mostrados os difratogramas do cimento e do MC, respectivamente.

Figura 7 - Difração de raios-x do CP V



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

Figura 8 - Difração de raios-x do MC



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

No difratograma do cimento CP V, as principais fases constituintes são a silicato de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$ ) e a ferro-aluminato de cálcio ( $\text{C}_4\text{AF}$ ). Outras fases como aluminato de cálcio ( $\text{C}_3\text{A}$ ) e brownmillerita [ $\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})_2\text{O}_5$ ] também foram detectadas pelo seu DRX. Já o metacaulim é composto majoritariamente por quartzo, e outras fases como feldspato e ilita também foram detectadas pelo DRX do MC. Um halo entre 20 e 30° ( $2\theta$ ) pode ser visto no DRX do MC indicando certa amorficidade do material.

### 3.2.2 Dosagem da argamassa

O traço de referência utilizado nesse estudo foi o apresentado anteriormente conforme a Tabela 4. Além disso, foram elaborados dois traços com substituições parciais do cimento pelo metacaulim, com percentuais de 10% e 20% em massa.

### 3.2.3 Argamassa Estabilizada

A preparação das amostras feitas em laboratório obedeceu a NBR 16541 (ABNT, 2016), e com a utilização de um misturador elétrico para argamassa, da marca Vonder, como apresentado na Figura 9. O armazenamento das amostras foi realizado em recipientes de PVC, impermeabilizadas e em local protegido do sol e vento, e foi adicionado uma película d'água

de 3 cm, conforme na Figura 10. E, para a avaliação de desempenho da argamassa estabilizada, foram realizados ensaios nos estados fresco e endurecido.

Figura 9 - Preparação das amostras de argamassa



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

Figura 10 - Armazenamento das amostras de argamassas ensaiadas



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

### 3.2.3.1 Propriedades no Estado Fresco

As propriedades avaliadas no estado fresco foram: trabalhabilidade, teor de ar incorporado, densidade de massa fresca.

a) Trabalhabilidade

O ensaio da Mesa de Consistência ou “Flow Table” foi realizado conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016) e apresentado na Figura 11. Este ensaio é definido através da determinação da consistência, coesão e plasticidade, que são variáveis da trabalhabilidade. As amostras foram ensaiadas nos tempos de estabilização: 0h, 36hrs e 48hrs, no Laboratório de Estruturas I - UFCG, campus Campina Grande, tornando-se possível avaliar a trabalhabilidade ao longo do tempo.

Figura 11 - Materiais utilizados no ensaio da mesa de consistência



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

b) Densidade de massa e Teor de ar incorporado

Foram obtidos de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005). Essas características estão diretamente ligadas ao rendimento da argamassa pronta para uso, ou seja, que volume ela rende para aplicação (AZERÊDO, 2012). Neste ensaio foi determinado a relação entre o volume e massa da argamassa fresca, conforme a Figura 12. Onde foi utilizado um recipiente metálico cilíndrico, previamente calibrado. Foi realizado no Laboratório de Estruturas I - UFCG, campus Campina Grande, e devido à limitações laboratoriais, as amostras apenas foram ensaiadas imediatamente após sua preparação.

Figura 12 - Determinação da densidade de massa



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

### 3.2.3.2 Propriedades no Estado Endurecido

Afim de avaliar o desempenho das amostras de argamassa estabilizada, nos diferentes tempos de estabilização, foram moldados corpos de provas nos tempos: 0h, 36hrs e 48hrs. Esses permaneceram de 24 horas, para os últimos corpos de prova moldados, e até 72 horas, para os primeiros, visto que a ação do aditivo retardador de pega impossibilitou o desmolde no tempo previsto pela NBR 13279 (ABNT, 2005). A cura inicial foi feita ao ar, e em seguida foram desmoldados e submetidos a cura final através de imersão em água até a idade de ensaio, 28 dias, apresentadas nas Figuras 13 e 14. As propriedades avaliadas no estado endurecido foram: resistência mecânica, densidade de massa aparente e absorção de água por capilaridade. Devido às limitações de quantidades de moldes disponíveis para uso, alguns resultados foram obtidos através da média de 2 corpos de prova e não foi considerado o desvio relativo máximo.

Figura 13 - Cura inicial dos corpos de prova



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

Figura 14 - Cura final dos corpos de prova



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

a) Resistência Mecânica

Esta propriedade está relacionada à capacidade da argamassa de resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, decorrentes de cargas atuantes nas edificações, ou decorrentes de efeitos das condições ambientais (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004). Para a análise desta propriedade foi avaliada a resistência à compressão conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), obtida através de ensaio no Laboratório de Engenharia de Pavimentos, com o equipamento Shimadzu Servopulser, modelo EHF-EM100K1-020-0A, como apresentado na Figura 15, com a carga aplicada à velocidade de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s.

Figura 15 - Ensaio de resistência à compressão simples



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

b) Densidade de massa aparente

Está relacionada à compactidade da argamassa, resultado da proporção de agregado em relação ao aglomerante e da distribuição granulométrica da mistura (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004). Esta propriedade foi verificada através de ensaio realizado conforme a NBR 13280 (ABNT, 2005), para corpos de prova moldados às 0h e 36hrs. Esses foram colocados em estufa por 24 horas, à  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , até que esses atingissem massa constante. Foi utilizado um paquímetro para obtenção das medidas de diâmetro e altura dos corpos de prova. E, posteriormente, esses foram pesados para que fosse determinado as densidades de massa individuais e médias, como apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Ensaio de densidade de massa aparente



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

c) Absorção de água por capilaridade

Este ensaio tem como objetivo medir a absorção de água das argamassas pelos poros capilares. Foi realizado conforme descrito na norma NBR 15259 (ABNT, 2005), para corpos de prova moldados às 0h e 36hrs. Esses foram os mesmos utilizados para o ensaio de densidade de massa aparente, possuindo, assim, registro de suas respectivas dimensões, e massa inicial. Foi usado um recipiente plástico com água, e uma grade metálica que permitiu que os corpos de prova não tivessem em contato direto com o fundo do recipiente, como mostrado na Figura 17. O nível de água permaneceu constante a  $5 \pm 1$  mm acima da face em contato com a água. Para se obter a absorção de água e o coeficiente de capilaridade, os corpos de prova foram pesados com 10 e 90 minutos de ensaio.

Figura 17 - Ensaio de absorção por capilaridade



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ESTADO FRESCO

#### 4.1.1 Trabalhabilidade

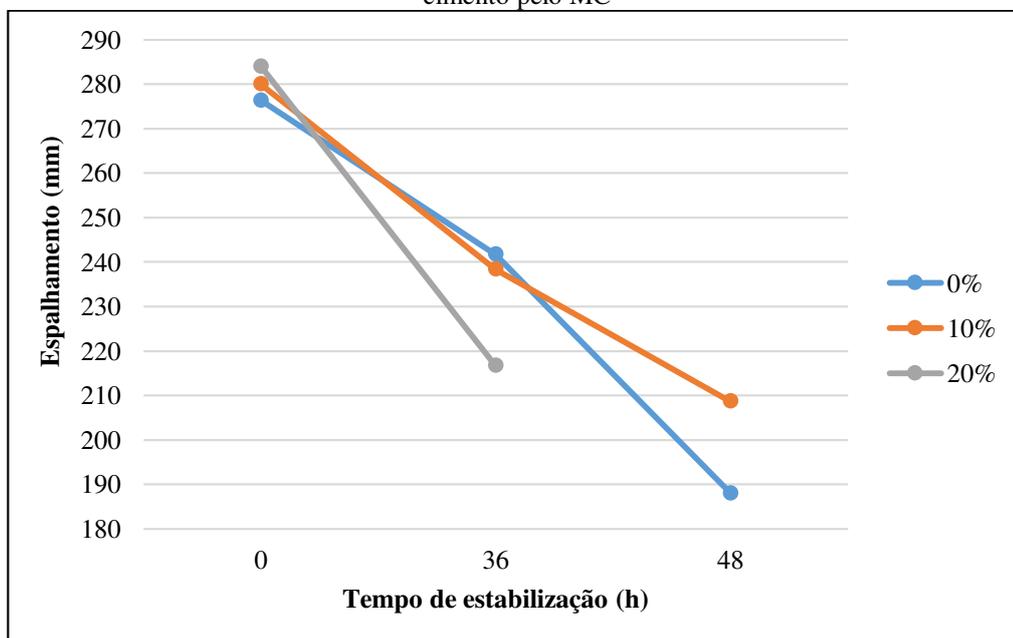
Na Tabela 8 são apresentados os dados de relação água/aglomerante (a/agl.) obtidos para uma consistência de  $280 \pm 5$  mm no tempo inicial da preparação da amostra, valor pré-estabelecido para a argamassa estabilizada de assentamento fornecida pela central concreteira. Os resultados obtidos a partir da mesa de consistência das argamassas ensaiadas em função do tempo de estabilização destas são apresentados na Tabela 8 e detalhados no Apêndice C. Na Figura 18 são ilustrados os dados da Tabela 8 em função do tempo de estabilização da argamassa.

Tabela 8 - Dados das misturas de argamassas estudadas

% de MC	Relação a/agl.	Espalhamento (mm)		
		0h	36h	48h
0%	0,97	276	242	188
10%	1,10	280	238	209
20%	1,11	284	217	-

FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

Figura 18 - Curva de espalhamento *versus* Tempo de estabilização da argamassa com substituição parcial do cimento pelo MC



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

A argamassa com 20% de MC sofreu uma redução de consistência significativa às 36 horas, de 23,71%. E esta não apresentou consistência suficiente para ser analisada às 48 horas, conforme apresentado na Figura 19, mostrando que para esse teor de MC a quantidade utilizada de aditivos não foi suficiente para manter a qualidade da argamassa estabilizada, prejudicando sua utilização devido à perda de sua trabalhabilidade.

Figura 19 - Amostra com 20% de MC às 48 horas de estabilização



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

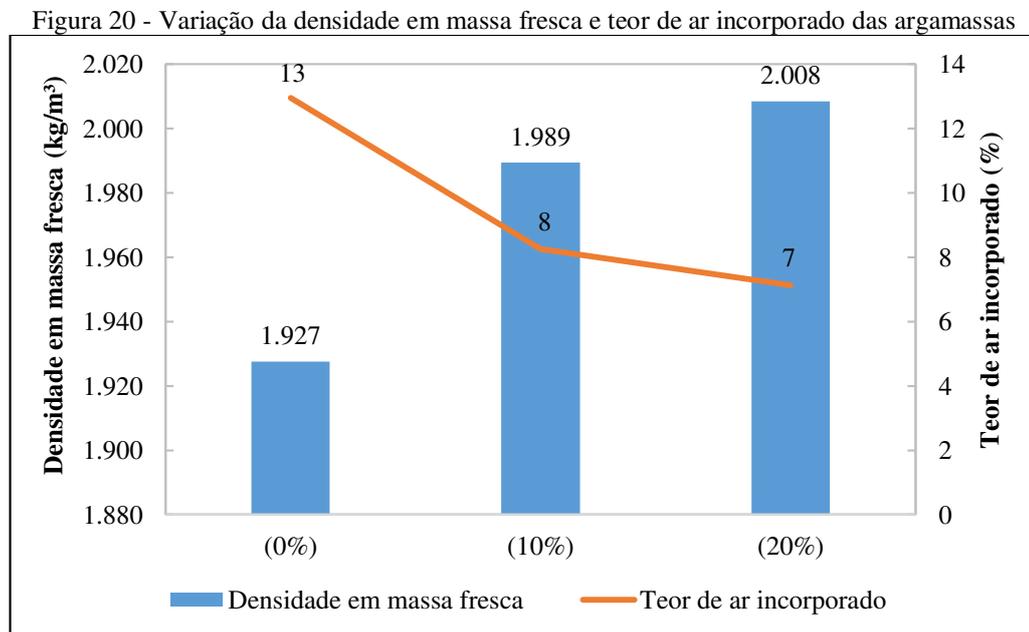
Considerando o espalhamento inicial de  $280 \pm 5$  mm, observa-se que quanto maior foi o teor de MC maior a relação água/aglomerante. A maior quantidade de água se deve ao aumento do teor de MC que, apesar de apresentarem maiores dimensões de suas partículas em relação às de cimento, tem características de absorver mais água devido à sua origem mineralógica. De modo geral, podemos observar através da Tabela 8 que os teores de MC estudados sofrem um aumento de cerca de 14 e 20% do teor de água das argamassas para as amostras de 10 e 20%, respectivamente.

Além disso, a argamassa de referência apresentou uma redução de aproximadamente 13 e 32% às 36 e 48 horas, respectivamente, com relação à consistência inicial. Já a argamassa com 10% de adição de MC apresentou uma redução de cerca de 15 e 25% às 36 e 48 horas, respectivamente. Mostrando assim que a amostra de referência conseguiu apresentar uma redução de consistência inferior à amostra com 10% de MC até às 36 horas, período de estabilização para qual a amostra foi dosada. E a amostra 10% de MC apresentou uma redução de consistência inferior às 48 horas. Portanto, pôde-se observar que esta última apresentou melhor trabalhabilidade às 48 horas, quando comparada com a amostra de referência. Isso pode

ter sido ocasionado pela estrutura lamelar característica do metacaulim que promoveu facilidade no escorregamento entre suas camadas, e também devido as suas reações de hidratação que se processam de forma mais lenta que às do cimento Portland, como afirmam Barbosa, Mota e Carneiro (2006) e Matos (2015).

#### 4.1.2 Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado

As densidades de massa fresca e os teores de ar incorporado foram avaliados logo após a preparação das argamassas. Na Figura 20 encontra-se as densidades de massa fresca e os teores de ar incorporado das argamassas em função do teor de MC, e em seguida a análise e comentários dos resultados. Nos Apêndices D e E são mostrados esses resultados de maneira detalhada.



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

Com o aumento do teor de MC a densidade de massa fresca aumentou. Esse aumento foi em média de 4,20% entre as misturas com 0% e 20%. O aumento da densidade pode estar relacionado com a melhoria da disposição do arranjo da argamassa com o maior teor do MC, cuja densidade é menor que a do cimento, e conforme as Figuras 3 e 4, mostradas anteriormente, as partículas de MC possuem dimensões maiores quando comparadas às de cimento. Isto pode ter promovido uma melhoria no arranjo da argamassa, diminuindo a quantidade de vazios.

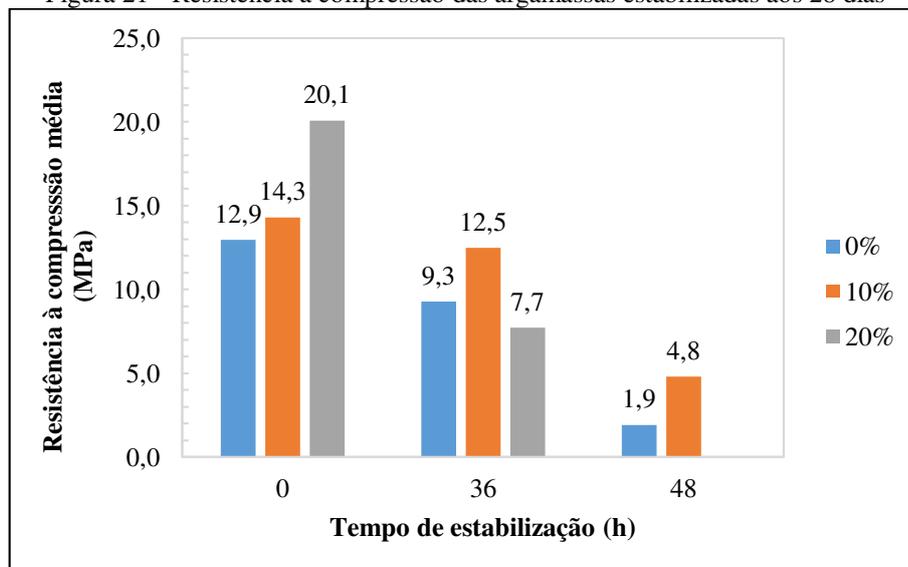
Além disso, é possível observar que com o aumento do teor de MC na argamassa, o teor de ar incorporado sofre uma diminuição. Essa redução foi em média de 45% entre as misturas com 0% e 20%, podendo ser explicado pela redução na quantidade de vazios.

## 4.2 ESTADO ENDURECIDO

### 4.2.1 Resistência mecânica

Os resultados quanto à resistência à compressão são apresentados na Figura 21 e detalhados no Apêndice F.

Figura 21 - Resistência à compressão das argamassas estabilizadas aos 28 dias



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

A resistência à compressão das argamassas atingiram valores que variaram de 1,9 a 20,1 MPa em função do tempo de moldagem e do teor de MC. A máxima resistência aos 28 dias foi alcançada pela mistura com 20% de MC (20,1 MPa), para os corpos de prova moldados logo após o preparo da mistura, aproximadamente 55% maior que a de referência para o mesmo tempo de estabilização. Observou-se que a amostra com 10% de MC também apresentou resistência superior a de referência.

Para o tempo de estabilização de 36 horas, a amostra com 10% de MC possuiu melhor desempenho, mantendo essa característica semelhante a moldagem no tempo 0, com uma redução de apenas 13%, diferente das argamassas com 0 e 20% de MC que tiveram uma queda de 28 e 62%, respectivamente. A redução da resistência para a amostra com 20% de MC pode ser explicada pela perda trabalhabilidade com o tempo de estabilização na hora de moldagem,

como mostrado nos resultados na Figura 18. Assim, para melhor explicar essa perda de resistência das amostras, são necessários estudos que avaliem a densidade em massa e o teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco, ao longo de seus tempos de estabilização.

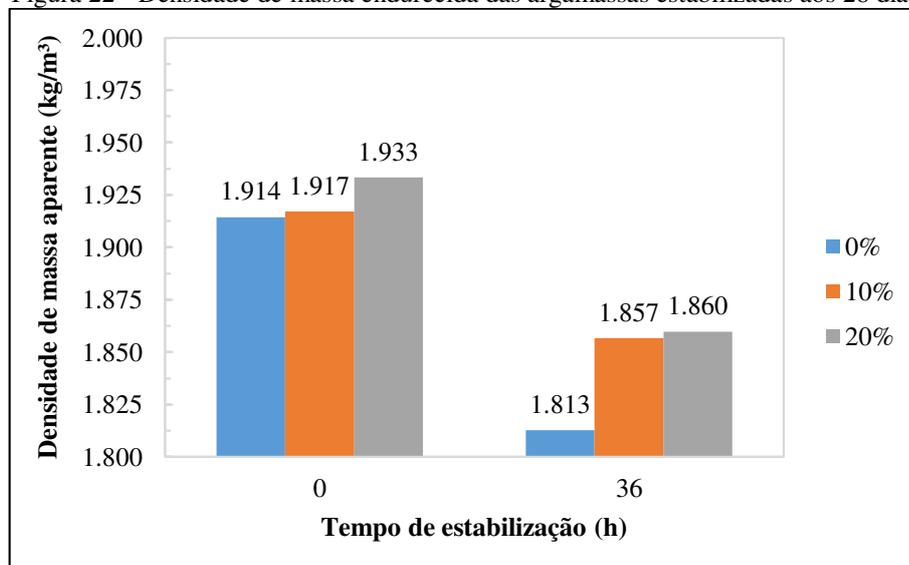
Quando moldadas às 48 horas de estabilização, nota-se que a argamassa com 10% de MC também apresentou maior resistência, ocorrendo uma queda de aproximadamente 66% em relação amostra moldada no tempo 0. Já a com 0% de MC apresentou uma redução de 85%, mostrando assim que com o teor de 10% de MC houveram melhorias nessa propriedade da argamassa estabilizada.

Apesar das argamassas contendo MC terem maiores teores de água, elas também apresentaram menores teores de ar incorporado, podendo ter reduzido o índice de vazios, explicando assim os resultados superiores quando comparadas com a amostra com 0% de MC. Além disso, pode-se destacar que as resistências das argamassas com MC poderão aumentar com o tempo de cura, já que essas endurecem também devido a reação pozolânica, de acordo com Azerêdo (2012).

#### 4.2.2 Densidade de massa aparente

Na Figura 22 são apresentados os resultados de densidade de massa para as argamassas com diferentes tempos de estabilização, esses se encontram detalhados no Apêndice G.

Figura 22 - Densidade de massa endurecida das argamassas estabilizadas aos 28 dias



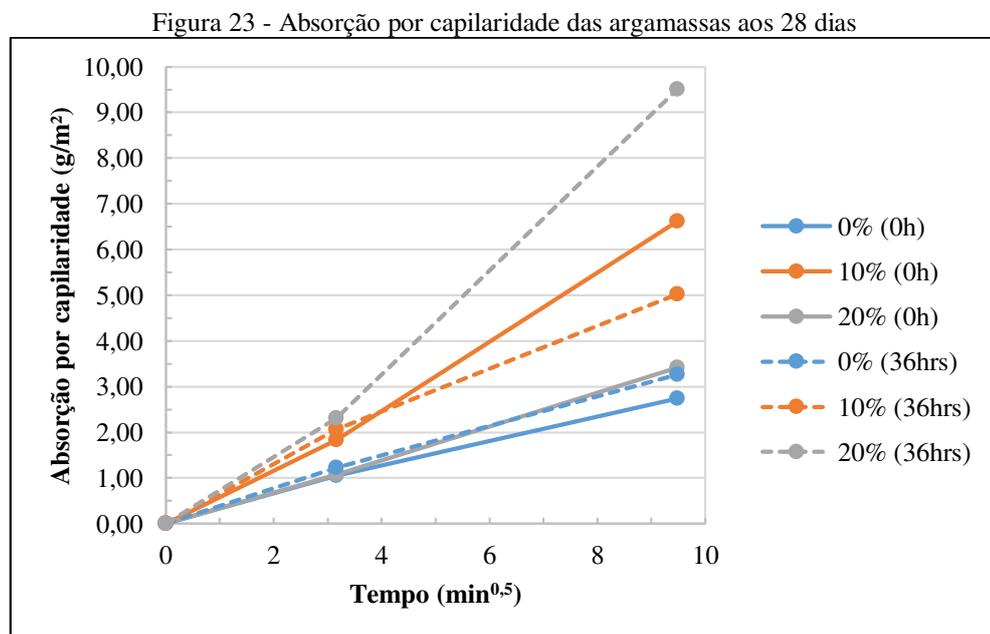
FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

Observa-se que com o aumento do teor de MC as argamassas apresentaram maiores densidades. Nas argamassas com 0% de MC os valores de densidades de massa variaram entre 1.914 kg/m<sup>3</sup> a 1.813 kg/m<sup>3</sup>, com o passar do tempo de estabilização, representando uma redução de cerca de 6%. Nas argamassas com 10% de MC os maiores valores de densidade foram na ordem de 1.917 kg/m<sup>3</sup> e o menor foi de 1.857 kg/m<sup>3</sup>, diminuição de aproximadamente 3%. E para as argamassas com 20% obtiveram densidades de 1.933 kg/m<sup>3</sup> a 1.860 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, representando uma redução de cerca de 4%.

A maior quantidade de MC contribuiu para a melhoria do empacotamento da argamassa, aumentando assim sua densidade. Com relação ao tempo de estabilização observou-se que houve uma redução nos valores de densidade no segundo dia, o que pode ser explicado pelo fato do teor de ar incorporado se reduzir ao longo do tempo (MACIOSKI, 2014). Além disso, as amostras de 10% e 20% de MC possuíram menores reduções quando comparadas às de 0% de MC, podendo estar ligado ao maior teor de ar incorporado da amostra de referência no estado fresco, sofrendo grande variação durante seu tempo de estabilização.

#### 4.2.3 Absorção por capilaridade

Os resultados das argamassas quanto à permeabilidade por capilaridade são apresentados na Figura 23.



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

Observa-se que quanto maior foi o teor de MC maior absorção de água ocorreu. Os menores valores de capilaridade foi na ordem de  $2,74 \text{ g/cm}^2$  (na amostra de 0% de MC moldada à 0 hora) e o maior foi de aproximadamente  $9,5 \text{ g/cm}^2$  (na amostra de 20% de MC moldada às 36 horas). A absorção de água para amostra de referência apresentou resultados próximos para os tempos de moldagem de 0 e 36 horas. A argamassa com 10% de MC possuiu maior absorção por capilaridade comparada à de 0% de MC, possuindo valores aproximados para os diferentes tempos de moldagem aos 10 minutos de ensaio ( $3,16 \text{ min}^{0,5}$ ), e evidenciando maior permeabilidade para os corpos de provas moldados à 0h aos 90 minutos de ensaio ( $9,49 \text{ min}^{0,5}$ ). Já a argamassa com 20% de MC possuiu resultados aproximados aos de referência para os corpos de prova moldados à 0h, e os moldados às 36 horas obtiveram as maiores absorções em relação às outras argamassas.

A maior razão para esse aumento da permeabilidade está relacionada com o maior teor de água nas misturas com mais MC, pois durante a cura inicial a água evaporada pode ter desenvolvido capilares nessas argamassas, poros interligados que permitiram maior absorção de água, como explica Nakakura e Cincotto (2004). Esses poros poderão ser reduzidos com o aumento do tempo de cura, que permitirá a ocorrência da hidratação do metacaulim e sua reação pozolânica que promoverá o possível preenchimento dos espaços vazios, como afirma Azerêdo (2012).

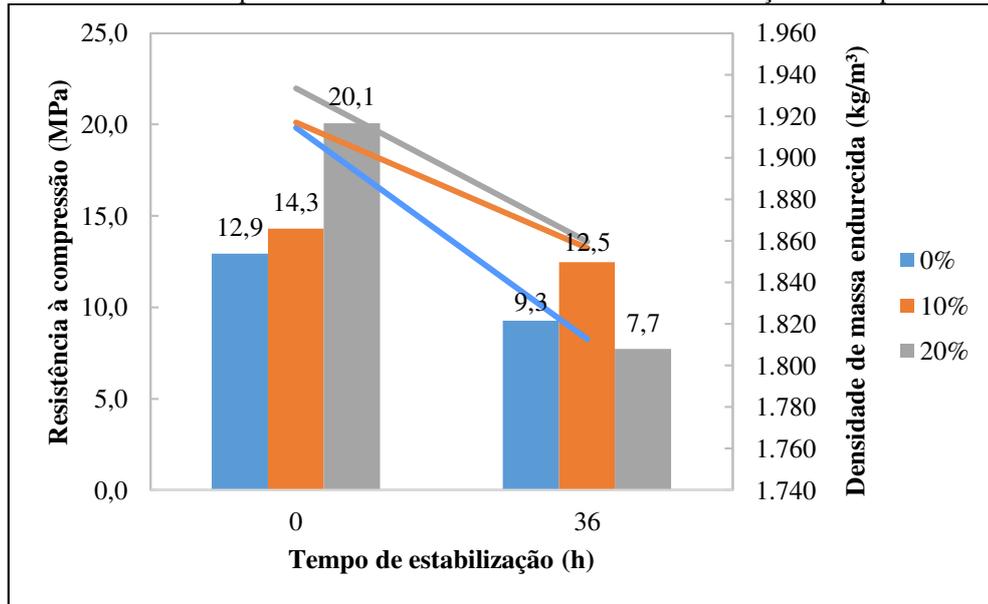
Já para casos em que os poros forem descontínuos ou ineficazes para o deslocamento de fluidos, a permeabilidade será baixa, mesmo apresentando alta porosidade (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004). Explicando assim o porquê as amostras com MC apresentaram maiores densidades de massa e resistência à compressão, mesmo possuindo maior absorção de água.

Além disso, Mota (2015; 2016) em seus estudos observou que o MC quando utilizado na substituição parcial do cimento aumentou a absorção de água em suas amostras, mesmo tendo apresentado melhores desempenhos na resistência à compressão. No entanto, quando usado na adição pura à amostra, esta apresentou melhores resultados tanto de resistência quanto de absorção. Estudos aprofundados seriam necessários para esclarecer esse fato.

#### 4.2.4 Análise conjunta dos dados das argamassas no estado endurecido

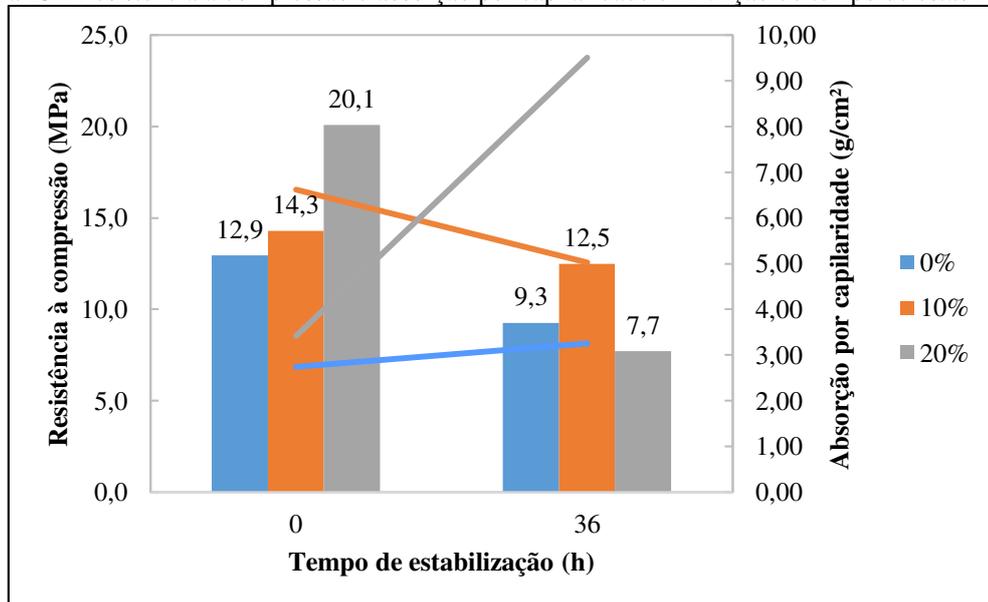
Neste item são mostrados e discutidos os resultados de resistência à compressão das argamassas em função das propriedades de densidade e capilaridade. Nas Figuras 24 e 25 são apresentados os resultados das argamassas com relação à densidade de massa e à capilaridade.

Figura 24 - Resistência à compressão e densidade de massa endurecida em função do tempo de estabilização



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

Figura 25 - Resistência à compressão e absorção por capilaridade em função do tempo de estabilização



FONTE: Elaborado pelos autores, 2019.

De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 24 e 25, pode-se destacar o seguinte:

(1) Considerando a variação de resistência com relação à densidade de massa das argamassas estabilizadas apresentaram variação bem definida tanto em função do teor de MC como com o tempo de estabilização que os corpos de prova foram moldados. De modo geral, vê-se que quanto maior a densidade maior a resistência. Já com relação ao tempo de estabilização, observa-se que ambas diminuíram com o tempo.

(2) Com relação à absorção de água, as argamassas não apresentaram uma tendência bem definida quanto à variação do teor de MC e tempo de estabilização de até 36 horas, com relação à variação de resistência. A resistência foi maior na mistura com maior teor de MC, à 0 hora, mesmo apresentando absorção superior à amostra de referência. De modo geral, houve uma tendência de aumento da absorção de água e queda de resistência em função do tempo de estabilização, com exceção da amostra com 10% de MC que diminuiu a absorção em função desse tempo. Como mostrado anteriormente, a permeabilidade está diretamente ligada à forma em que os poros estão dispostos, podendo ser interligados ou descontínuos.

A Figura 26 apresenta corpos de prova após ruptura no ensaio de resistência à compressão, para as amostras de 0% (A), 10% (B) e 20% (C) de MC, moldadas à 0 hora.

Figura 26 - Corpos de prova das argamassas após ruptura aos 28 dias



**FONTE:** Elaborado pelos autores, 2019.

Observa-se que as amostras com 10% e 20% de MC apresentaram maiores rupturas na parte inferior dos corpos de provas. Podendo estar ligado à maior exsudação ocorrida na parte inferior dos moldes para essas amostras, que tiveram relações água/aglomerante superior à amostra de referência. Isso pode ter favorecido a formação de capilares pelos poros interligados, aumentando assim sua permeabilidade mesmo tendo apresentado maiores resistências. Isso não acontece com o corpo de prova da amostra com 0% de MC, que apesar de possivelmente apresentar maior índice de vazios, seus poros estariam distribuídos de forma descontínua, dificultando a absorção por capilaridade.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho procurou investigar o uso metacaulim, como adição mineral para substituição parcial do cimento em argamassas estabilizadas. Para isso, foram avaliadas propriedades no estado fresco e endurecido da argamassa, contendo diferentes teores de metacaulim.

Diante dos dados obtidos, é possível destacar as seguintes conclusões para o estado fresco:

- Com o ensaio da Mesa de Consistência, observou-se que a amostra com 10% de MC apresentou trabalhabilidade semelhante à amostra de referência às 36 horas, entretanto sua perda de trabalhabilidade às 48 horas foi menor que a argamassa de referência, isso pode ter ocorrido devido a estrutura lamelar característica do metacaulim e também às suas reações de hidratação que se processam de forma mais lenta que às do cimento Portland. Já a amostra com 20% de MC não apresentou resultados satisfatórios tendo em vista sua queda na consistência de aproximadamente 24% às 36 horas, e não pôde ser avaliada às 48 horas, mostrando que a dosagem de aditivos utilizada não foi suficiente para manter essa característica durante seu tempo de estabilização.

- A densidade de massa e o teor de ar incorporado, aumentou em até 4,2% e diminuiu até 45%, respectivamente, com o aumento do teor de MC. Mostrando que a presença de MC teria promovido uma melhoria no arranjo das partículas de cimento e metacaulim da argamassa, diminuindo assim a quantidade de vazios. Contudo, isso pode ter prejudicado o seu desempenho como argamassa estabilizada, pois essa tem como característica ser uma argamassa leve devido ao seu ar incorporado.

Nas propriedades do estado endurecido das argamassas estudadas, verificou-se que:

- Com o aumento do teor de MC, houve ganho de resistência à compressão para as amostras de moldadas logo após seu preparo. Superando em até 55% a resistência obtida pela amostra de referência. Observou-se que a amostra com 10% de MC preservou mais essa propriedade durante seu tempo de estabilização, o que não ocorreu com a amostra de 20% de MC, que sofreu uma queda elevada de resistência. No entanto, esses resultados poderão sofrer melhorias com o aumento do tempo de cura devido à ocorrência da reação pozolânica.

- As argamassas apresentaram maiores densidades em função do aumento do teor de MC. A maior quantidade de MC contribuiu para o melhor empacotamento da argamassa, influenciando no aumento de sua densidade. Além disso, ficou evidente uma redução nos

valores de densidades de massa de 6, 3 e 4%, com o passar do tempo de estabilização, para as amostras com 0, 10 e 20% de MC, respectivamente.

- Apesar de que as argamassas com maior teor de MC terem aumentado sua resistência à compressão e densidade de massa, notou-se que a absorção por capilaridade também aumentou. Para a absorção de água, a amostra de referência apresentou resultados próximos para os tempos de moldagem de 0 e 36 horas, assim como a argamassa com 20% de MC. As demais amostras apresentaram maior permeabilidade. Esse aumento da permeabilidade pode estar relacionado com o maior teor de água nas misturas com mais MC, que quando evaporada permitiu a formação de poros ligados, favorecendo a absorção através desses capilares.

De modo geral, os resultados obtidos nesta pesquisa mostraram que o metacaulim tem potencial para ser usado em argamassas estabilizadas para assentamento. Também vale destacar que o uso desse material pozolânico na substituição parcial do cimento, além de permitir melhorias significativas no desempenho dessas argamassas, pode possibilitar a redução de custos através da diminuição da quantidade aditivo inibidor de hidratação necessária para manter a qualidade da argamassa durante sua estabilização. Porém outros estudos devem ser realizados principalmente no que diz respeito à sua microestrutura, durabilidade e otimização da dosagem dos aditivos visando uma possível redução do consumo de aditivo retardador de pega e aumento do consumo de aditivo incorporador de ar nas argamassas estabilizadas com incorporação de metacaulim.

## REFERÊNCIAS

AMTHAUER, Paulo Roberto. **Argamassa de Assentamento – Uma Verificação do Estágio Atual na Cidade de Ijuí**. 2001. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos — Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR. 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR. 11768**: Aditivos para concreto de cimento portland. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR. 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

AZERÊDO, Aline Figueirêdo Nóbrega de. **Estudo do resíduo de caulim em argamassas a base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais**. 2012. Dissertação de doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

BARBOSA, Fred R.; MOTA, João MF; CARNEIRO, Arnaldo MP. A influência do teor de adição metacaulim nas propriedades no estado endurecido: capilaridade e resistência mecânica de argamassas inorgânicas para recuperação de monumentos históricos. **XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. Florianópolis/SC, 2006.

BELLEI, Poliana et al. Estudo Comparativo do Desempenho no Estado Fresco e Endurecido de Argamassa Estabilizadas de 36H e 72H. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA**, v. 11, 2015.

BEZERRA, Izabelle MT et al. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, n. 6, 2011.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed.) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2007. Cap. 26, p. 863 – 904.

CASALI, Juliana Machado et al. **Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência**. 2008. 348 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DA ROCHA, Guilherme Gallo Neves. **Caracterização microestrutural do metacaulim de alta reatividade**. 2005. Dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

FERREIRA, Karina. **Estudo comparativo entre argamassas convencionais e industrializadas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Maringá - UNICESUMAR, Maringá, 2016.

GOBBI, Andressa. **Atividade pozolânica de adições minerais pelas NBR 5751/2012 e NBR 5752/2012: uma análise crítica a partir de métodos complementares**. 2014. Dissertação de mestrado em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2014.

HARTMANN, C. et al. **Aditivos Químicos para Concretos e Cimentos**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1. Ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 1v. Cap. 10. p. 47-380.

HERMANN, Aline; ROCHA, João Pedro de Almeida. **Pesquisa de viabilidade da utilização da argamassa estabilizada modificada para revestimento sem a necessidade de aplicação do chapisco**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

JACOSKI, Claudio Alcides; COSTELLA, Marcelo F.; RIGON, Mateus. Estudo Patentométrico de Argamassas no Brasil. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 5, 2014.

JEZIORSKI, Gabriel Mateus Zago. **Comparativo entre argamassa estabilizada e argamassa industrializada para assentamento de alvenaria estrutural**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI, Santa Rosa, 2018.

MACCARI, Guilherme Herdt. **Argamassa de assentamento com saibro: um estudo das práticas na região de Tubarão/SC**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2012.

MACIOSKI, Gustavo. **Avaliação do comportamento de argamassas estabilizadas para revestimento**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2014. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2014.

MANN NETO, Artur; ANDRADE, Daniela Carnasciali de; SOTO, Nicolle Talita Arriagada. **Estudo das propriedades e viabilidade técnico-econômica da argamassa estabilizada**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MARCONDES, Carlos Gustavo. **Características e benefícios da argamassa estabilizada**. Massa Cinzenta. Publicado em, v. 9, 2009.

MARTINS NETO, Antonio A. A.; DJANIKIAN, João Gaspar. **Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central**. EPUSP, 1999.

MATOS, Paulo Ricardo de; et al. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MEDINA, Engler Apaza. **Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binários com cimento Portland e hidróxido de cálcio**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

MELO, José Roberto de Souza. **A Reciclagem de Resíduos de Cerâmica para Utilização no Processo de Argamassa**. 2017. Dissertação de mestrado em Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará, 2017.

MENEZES, Romualdo R.; et al. Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 795-801, 2009.

MOTA, João Manoel Freitas Freitas. Durabilidade de argamassas com adição de metacaulim para reforço de alvenaria. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1105-1116, 2016.

MOTA, João Manoel de Freitas. Reforço de Alvenaria Resistente com Argamassa Armada com Adição de Metaculim. 2015.

NAKAKURA, Elza Hissae; CINCOTTO, Maria Alba. Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento. **São Paulo: Escola Politécnica da USP**, 2004.

PAULO, Raquel Sofia VM. **Caracterização de argamassas industriais**. 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, Portugal, 2006.

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião. **Materiais de construção**. Globo, 1993.

PRUDÊNCIO JR, Luiz Roberto; OLIVEIRA, Alexandre Lima; BEDIN, Carlos Augusto. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Editora Gráfica Palloti. Florianópolis, 2002.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo, ABCP, 2.ed. 1998.

SANTOS, Maria Luiza Lopes de Oliveira. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. 2008. Dissertação de doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

SILVA, Ana Flávia da. **Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural**. 2007. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, 2007.

SIQUEIRA, Jacilene Siqueira de; et al. **Reciclagem de resíduo a partir de cinzas de carvão mineral: produção de argamassas**. 2011.

STEIL, Rafael de Oliveira. **Efeito da geometria do bloco de concreto e do tipo de argamassa no desempenho à compressão de prismas de alvenaria não grauteados**. 2003. Dissertação de mestrado em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Resistência à compressão para determinação da atividade pozolânica com cal aos 7 dias.

CP	Res. à compressão (MPa)	Res. à compressão média (MPa)	Desvio Relativo	Nova Res. à compressão média (MPa)
1	6,8	6,7	1,0	7,0
2	7,1		5,4	
3	6,3		6,4*	

Onde,

\* - Acima de 6,0%.

**APÊNDICE B - Resistência à compressão para determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.**

<b>% MC</b>	<b>CP</b>	<b>Res. à compressão (MPa)</b>	<b>Res. à compressão média (MPa)</b>	<b>Desvio Relativo</b>	<b>Nova Res. à compressão média (MPa)</b>	<b>ICIMENTO (%)</b>
0%	1	27,2	27,7	1,9	27,2	123
	2	25,5		7,9*		
	3	30,4		9,8*		
25%	1	33,3	33,3	0,1	33,3	
	2	32,7		1,9		
	3	34,0		2,0		

Onde,

\* - Desvio acima de 6,0%.

**APÊNDICE C - Diâmetro para determinação da trabalhabilidade através da mesa de consistência.**

% MC	Tempo de Estabilização	Diâmetro (mm)			D <sub>MÉDIO</sub> (mm)
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	
0%	0h	275	280	274	276
	36hrs	250	235	240	242
	48hrs	195	185	184	188
10%	0h	280	275	285	280
	36hrs	235	238	242	238
	48hrs	209	209	208	209
20%	0h	285	280	287	284
	36hrs	222	211	217	217

**APÊNDICE D - Determinação da densidade de massa fresca pelo método gravimétrico.**

<b>% MC</b>	<b>m<sub>v</sub> (g)</b>	<b>v<sub>r</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>m<sub>c</sub> (g)</b>	<b>d (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>0%</b>			990,30	1927
<b>10%</b>	59,60	482,86	1020,20	1989
<b>20%</b>			1029,40	2008

**APÊNDICE E - Determinação do teor de ar incorporado.**

<b>% MC</b>	<b>d (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>d<sub>t</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>A (%)</b>
<b>0%</b>	1,93	2,20	13
<b>10%</b>	1,99	2,16	8
<b>20%</b>	2,01	2,15	7

**APÊNDICE F - Determinação da resistência à compressão individual e média aos 28 dias.**

<b>Tempo de Estabilização</b>	<b>% MC</b>	<b>CP</b>	<b>Res. à compressão (MPa)</b>	<b>Res. à compressão média (MPa)</b>	<b>Desvio Relativo</b>
0h	0%	1	14,4	12,9	11,1*
		2	11,5		11,1*
	10%	1	12,8	14,3	10,2*
		2	15,7		9,5*
		3	14,4		0,7
	20%	1	20,1	20,1	0,0
2		20,1	0,0		
36hrs	0%	3	9,5	9,3	1,9
		4	9,1		1,9
	10%	4	10,6	12,5	15,5*
		5	13,7		9,7*
		6	13,2		5,7
	20%	3	6,8	7,7	12,3*
4		8,7	12,3*		
48hrs	0%	5	1,7	1,9	11,7*
		6	2,0		5,0
		7	1,8		7,6*
		8	2,2		14,4*
	10%	7	5,3	4,8	10,3*
		8	4,3		10,3*

Onde,

\* - Desvio acima de 6,0%.

**APÊNDICE G - Determinação da densidade de massa aparente individual e média aos 28 dias.**

<b>Tempo de Estabilização</b>	<b>% MC</b>	<b>CP</b>	<b>D<sub>1</sub> (cm)</b>	<b>D<sub>2</sub> (cm)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>m (g)</b>	<b>Densidade de massa aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade de massa aparente média (kg/m<sup>3</sup>)</b>
0h	0%	1	4,9	5,0	9,8	357,4	1.895	1.914
		2	4,8	5,0	9,8	357,4	1.934	
	10%	1	4,9	4,9	9,8	363,5	1.967	1.917
		2	5,0	5,0	10,0	364,1	1.892	
		3	5,0	5,0	10,0	362,3	1.892	
	20%	1	5,0	5,0	9,9	374,4	1.936	1.933
2		5,0	5,0	9,9	373,4	1.931		
36hrs	0%	3	5,0	5,0	10,0	355,2	1.818	1.813
		4	5,0	5,0	10,0	354,9	1.808	
	10%	4	4,9	5,0	9,9	355,1	1.864	1.857
		5	5,0	5,0	10,0	362,5	1.846	
		6	4,9	5,0	9,9	354,3	1.859	
	20%	3	5,0	4,9	9,9	352,6	1.870	1.860
		4	5,0	5,0	10,0	363,2	1.850	

**APÊNDICE H - Determinação da absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade individuais e médias aos 28 dias.**

Tempo de Estabilização	% MC	CP	m <sub>10</sub> (g)	m <sub>90</sub> (g)	Absorção por capilaridade t <sub>10</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	Absorção por capilaridade média t=10(g/cm <sup>2</sup> )	Absorção por capilaridade t=90min (g/cm <sup>2</sup> )	Absorção por capilaridade média t=90min (g/cm <sup>2</sup> )	C (g/dm <sup>2</sup> .√min)	C médio (g/dm <sup>2</sup> .√min)
0h	0%	1	357,53	357,75	0,57	1,05	1,71	2,74	0,22	0,32
		2	357,64	358,06	1,54		3,77		0,42	
	10%	1	363,79	365,40	1,59	1,83	10,13	6,62	1,61	0,91
		2	364,52	365,19	2,18		5,66		0,67	
		3	362,65	363,10	1,71		4,05		0,45	
	20%	1	374,73	375,28	1,48	1,07	4,28	3,41	0,55	0,46
2		373,53	373,90	0,66	2,55		0,37			
36hrs	0%	3	355,30	355,56	0,71	1,22	2,04	3,26	0,26	0,40
		4	355,26	355,80	1,73		4,48		0,54	
	10%	4	355,57	356,12	2,23	2,06	5,09	5,03	0,55	0,57
		5	362,97	363,47	2,29		4,84		0,50	
	20%	6	354,58	355,25	1,66	2,31	5,14	9,50	0,67	1,40
		3	352,92	353,70	1,47		5,56		0,78	
		4	363,80	365,82	3,16		13,45		2,02	