



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE – CCTS - CAMPUS VIII  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MATTEUS MEDEIROS NÓBREGA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA ARGAMASSA DE ALTA RESISTÊNCIA À  
BASE DE MINERAIS**

**ARARUNA - PB  
2021**

**MATTEUS MEDEIROS NÓBREGA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA ARGAMASSA DE ALTA RESISTÊNCIA À  
BASE DE MINERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof(a) Dra. Maria Adriana  
de Freitas Mágero Ribeiro

**ARARUNA - PB  
2021**

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

N754e Nobrega, Matteus Medeiros.  
Estudo do comportamento da argamassa de alta resistência à base de minerais [manuscrito] / Matteus Medeiros Nobrega. - 2021.  
65 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2021.

"Orientação : Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mâgero Ribeiro, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Argamassa . 2. Minerais. 3. Propriedades dos materiais. I. Título

21. ed. CDD 691.5

## **MATTEUS MEDEIROS NÓBREGA**

### **ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA ARGAMASSA DE ALTA RESISTÊNCIA À BASE DE MINERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof(a) Dr. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro

Aprovada em: 28/07/2021.

#### **BANCA EXAMINADORA**



---

Prof(a). Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Beatriz Wanderley Gomes  
Engenheira Civil

## RESUMO

Este trabalho exhibe avaliações e comparações comportamentais das propriedades mecânicas entre argamassas moldadas através de variações granulométricas do agregado, adições de aditivos plastificantes e superplastificantes, adições e substituições de metacaulim e sílica ativa, utilizando o cimento Portland de Alta Resistência - ARI. Expõem as necessidades, propriedades desejáveis e os benefícios da utilização de argamassa de alta resistência, sem perder as características de trabalhabilidade e consistência. Os resultados apresentados abordaram as variações das consistências das argamassas moldadas a partir das distribuições granulométricas do agregado, o comportamento de trabalhabilidade com incremento do metacaulim e as oscilações de resultados entre argamassas moldadas a partir da substituição e adição de 5, 10 e 15% de metacaulim e sílica ativa. As argamassas trouxeram bons resultados mecânicos e de consistência, no qual o estudo teve como intuito demonstrar e determinar uma argamassa de alta resistência à base de minerais.

**Palavras-chave:** Argamassa de alta resistência. Adições e substituições de minerais. Comportamento da argamassa. Propriedades da argamassa.

## ABSTRACT

This work presents behavioral evaluations and comparisons of the mechanical properties between molded mortars through granulometric variations of the aggregate, additions of plasticizers and superplasticizers, additions and substitutions of metakaolin and silica fume, using High Strength Portland cement - ARI. They expose the needs, desirable properties and benefits of using high-strength mortar, without losing its workability and consistency characteristics. The results presented were the variations in the consistencies of the molded mortars from the granulometric distributions of the aggregate, the workability behavior with an increment of metakaolin and the oscillations of results between molded mortars from the replacement and addition of 5, 10 and 15% of metakaolin and silica fume. The mortars brought good mechanical and consistency results, in which the study aimed to demonstrate and determine a high strength mortar based on minerals.

**Keywords:** High strength mortar. Mineral additions and substitutions. Mortar behavior. Mortar properties.

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Consistência da argamassa.-----	18
Imagem 2- Perda de água da argamassa de assentamento no estado fresco para os blocos de alvenaria.-----	19
Imagem 3- Aparelho para determinação de consistência da argamassa.-----	29
Imagem 4 - Ensaio de índice de consistência da argamassa natural T0-1. -----	40
Imagem 5 - Índice de consistência da argamassa natural T0-2.-----	40
Imagem 6 - Índice de consistência da argamassa natural T0-3.-----	41
Imagem 7 - Índice de consistência argamassa natural T0-4.-----	41
Imagem 8 - Índice de consistência argamassa com metacaulim T1m. -----	43
Imagem 9- Índice de consistência argamassa com metacaulim T3m. -----	43
Imagem 10 - Índice de consistência da argamassa com metacaulim Tm4. -----	44
Imagem 11 - Índice de consistência da argamassa com metacaulim tm5. -----	44
Imagem 12- Índice de consistência argamassa realizada com metacaulim e sílica ativa – T1-1.-----	46
Imagem 13- Índice de consistência da argamassa com metacaulim e sílica ativaT1-2.-----	46
Imagem 14- Índice de consistência da argamassa com metacaulim e sílica ativa - T1-3.-----	47
Imagem 15- Índice consistência da argamassa com metacaulim e sílica ativa T1-4.47	
Imagem 16- Índice consistência da argamassa T2-1.-----	48
Imagem 17- Índice de consistência argamassa T2-2.-----	49
Imagem 18- Índice de consistência da argamassa T2-3.-----	49
Imagem 19- Índice de consistência da argamassa T2-4.-----	50
Imagem 20- Índice de consistência argamassa T3-1.-----	51
Imagem 21- Índice de consistência argamassa T3-2.-----	52
Imagem 22- Corpo de prova T1m realizada com argamassa à base de metacaulim.-----	54
Imagem 23- Corpo de prova T2m realizada com argamassa à base de metacaulim.-----	55
Imagem 24 - Corpo de prova T3m realizada com argamassa à base de metacaulim.-----	55

Imagem 25- Corpo de prova T4m realizada com argamassa à base de metacaulim. -----	55
Imagem 26- Corpo de prova T5m realizada com argamassa à base de metacaulim. -----	56
Imagem 27- Corpo de prova T6m realizada com argamassa à base de metacaulim. -----	56
Imagem 28- Corpos de prova do traço T0 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias. -----	57
Imagem 29- Corpos de prova do traço T1 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias. -----	57
Imagem 30- Corpos de prova do traço T2 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias. -----	58
Imagem 31- Corpos de prova do traço T3 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias. -----	58
Imagem 32- Corpos de prova do traço T4 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias. -----	58
Imagem 33- Corpos de prova do traço T5 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias. -----	59
Imagem 34- Corpos de prova do traço T7 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias. -----	59
Imagem 35- Corpos de prova T0 da argamassa analisa à compressão aos 28 dias. -----	60
Imagem 36- Corpos de prova do traço T1 da argamassa analisada à compressão aos 28 dias. -----	60
Imagem 37- Corpos de prova do traço T2 da argamassa analisada à compressão aos 28 dias. -----	61
Imagem 38- Corpos de prova T0 da argamassa analisada sobre tração aos 7 dias.	62
Imagem 39- Corpos de prova do traço T1 da argamassa analisada à tração aos 7 dias. -----	62
Imagem 40- Corpos de prova do traço T2 da argamassa analisada à tração aos 7 dias. -----	62
Imagem 41 - Corpos de prova do traço T3 da argamassa analisada à tração aos 7 dias. -----	63



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Funções, exigências e propriedades da argamassa -----	17
Tabela 2 - Influência dos parâmetros granulométricos nas principais propriedades das argamassas.-----	24
Tabela 3 - Traços para comparação da argamassa inicial. -----	32
Tabela 4 - Traço em massa da argamassa analisada com sílica ativa e metacaulim. -----	33
Tabela 5 - Distribuição granulométrica do agregado. -----	34
Tabela 6 - Verificação da massa total seca com as retidas no fundo e nas peneiras. -----	34
Tabela 7 - Índice de consistência para argamassa com metacaulim. -----	42
Tabela 8 - Índice de consistência para a argamassa com substituição de 5% de metacaulim e sílica ativa. -----	45
Tabela 9 - Índice de consistência da argamassa com substituição de 10% metacaulim e 5% sílica ativa. -----	48
Tabela 10 - Índice de consistência da argamassa com substituição de metacaulim 15% e sílica ativa 5%. -----	50
Tabela 11 - Resistência à compressão aos 7 dias para os traços realizados com metacaulim. -----	54
Tabela 12 - Resistência à compressão aos 7 dias da argamassa realizada com metacaulim e sílica ativa. -----	56
Tabela 13 - Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas realizadas com metacaulim e sílica ativa. -----	59
Tabela 14 - Resistência à tração aos 7 dias das argamassas realizadas com metacaulim e sílica ativa. -----	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Água/cimento
AN	Areia natural
AMG	Areia média grossa
AMF	Areia média fina
AF <sub>2</sub>	Areia fina
ARI	Alta Resistência Inicial
ASTM	American Society for Testing and Materials
BC	Baixo colar de hidratação
C	Celsius
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Cálcio
CP	Corpo de prova
CP I	Cimento Portland sem adição
CP I - S	Cimento Portland com adição
CP II - E	Cimento Portland de alto forno
CP II - Z	Cimento Portland com material pozolânico
CP III	Cimento Portland de alto-forno
CP IV	Cimento Portland pozolânico
CP V	Cimento Portland de alta resistência inicial
CPB	Cimento Portland branco
DRM	Desvio Relativo Máximo
g	Gramas
Na <sub>2</sub> O	Óxido de Sódio
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
MC	Metacaulim
mm	Milímetros
Mpa	MegaPascal
P	Plastificante
RS	Resistência a sulfato

SA	Sílica ativa
SO <sub>3</sub>	Sulfato de oxigênio
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Silício
SP	Super plastificante
m <sup>2</sup> /g	Metros quadrado por grama
µm	Micrômetro

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo geral .....	15
2.2 Objetivos específicos .....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1 Argamassa.....	16
3.1.1 <i>Definição da argamassa</i> .....	16
3.1.2 <i>Principais característica da argamassa</i> .....	17
3.1.2.1 <i>Trabalhabilidade</i> .....	17
3.1.2.2 <i>Retenção de água</i> .....	18
3.1.2.3 <i>Resistência mecânica</i> .....	19
3.1.2.4 <i>Estabilidade volumétrica ou retração</i> .....	19
3.1.2.5 <i>Capacidade de absorver deformações</i> .....	20
3.2 <i>Análise granulométrica</i> .....	20
3.3 Componentes da argamassa .....	21
3.3.1 <i>Aditivos plastificante e superplastificantes</i> .....	21
3.3.2 <i>Cimento Portland</i> .....	22
3.3.3 <i>Areia</i> .....	23
3.3.4 <i>Sílica ativa</i> .....	24
3.3.5 <i>Metacaulim</i> .....	26
3.4 Preparo da argamassa.....	27
3.5 Índice de consistência .....	28
3.6 Resultados do ensaio .....	29
3.6.1 <i>Resistência à compressão</i> .....	29
3.6.2 <i>Resistência à tração por compressão diametral</i> .....	30
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 Dosagem .....	32
4.2 COMPONENTES DA ARGAMASSA.....	33
4.2.1 <i>Cimento Portland</i> .....	33
4.2.2 <i>Agregado miúdo</i> .....	33

4.2.3	<i>Aditivo plastificante e superplastificante</i> .....	35
4.2.4	<i>Sílica ativa</i> .....	35
4.2.5	<i>Metacaulim</i> .....	35
4.3	Preparação da argamassa.....	35
4.4	Índice de consistência.....	37
5.	RESULTADOS.....	38
5.1	Índice de consistência.....	38
5.2.1	<i>Resistência à compressão</i> .....	53
5.2.2	<i>Resistência à tração</i> .....	61
6.	CONCLUSÃO.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil vem evoluindo cada dia que se passa e com isso novas tecnologias e técnicas são implementadas com o intuito de atender as necessidades construtivas. Um dos principais componentes no canteiro de obra é a argamassa, produto obtido pela mistura cimento Portland, areia e água, visto também como um subsídio que apresenta características limitadas que demanda cuidados na sua utilização.

As propriedades mecânicas da argamassa natural, ou seja, a argamassa que não contém presença de aditivo ou adições de minerais, está diretamente relacionada com o teor de cimento, a faixa granulométrica do agregado miúdo e a relação a/c. Com o aumento da quantidade de cimento a mistura ficará mais resistente, porém prejudicará a trabalhabilidade da argamassa. Consequentemente, proporcionará o aumento da poluição ambiental a partir da liberação de calor no processo de hidratação do cimento, em outras palavras, efeito exotérmico, proporcionando o aumento de volume e em seguida o resfriamento e retração (CAMPOS et al., 2019). Devido a isto, os envolvidos na construção civil têm como aptidão desenvolver técnicas que proporcione e aprimore cada vez mais os elementos construtivos. Mistura de argamassa vem sendo realizada cada vez mais com a presença de vários elementos complementares, nos quais podem ser: aditivos plastificantes e superplastificantes, sílica ativa, metacaulim, cimento Portland de alta resistência (ARI) e entre outros, mas vale salientar que estes produtos apresentam suas peculiaridades e limitações, devido à falta de normas e conhecimentos, podem originar problemas e dificuldades ao construtor.

A implementação de aditivos e superplastificantes vem surgindo gradativamente em obras desde pequeno à grande porte, beneficiando a mistura cimentícias com redução do teor de cimento e água da mistura, aumento da resistência e trabalhabilidade, assim dizendo que, agregando de forma econômica e qualitativa ao traço de argamassa e até mesmo de concreto.

Devido as decorrências do alto consumo de cimento através das necessidades mecânicas satisfatórias, destaca-se o estudo da substituição ou acréscimo da sílica ativa e o metacaulim. Substituição na qual apresenta resultados satisfatórios em estudos brasileiros e no exterior, proporcionando conclusões de qualidade, trabalhabilidade, resistência e durabilidade rigorosa à mistura (CAMPOS

et al., 2019). Medida na qual reduz o alto consumo de cimento, e conseqüentemente, a poluição originada por seu processo exotérmico.

A sílica-ativa é o elemento obtido através da produção de silício ou ligas ferrosilício, com SiO<sub>2</sub> em forma gasosa, se condensando em partículas finas esféricas, proporcionando o aumento de velocidade da reação do Ca(OH)<sub>2</sub> (CAMPOS et al., 2019). Propriedades determinadas devido às partículas de sílica, preenchendo os vazios entre os grãos do cimento, proporcionando assim melhor empacotamento (NEVILLE, 2013).

As adições derivadas de alumínio silicoso originadas pela calcinação de algumas argilas, como argila caulinita e caulins, entre 600°C e 900°C, são determinados como metacaulim (SOUZA et al., 2015). Adição na qual garante alta eficácia para misturas cimentícias, garantindo melhores propriedades mecânicas: resistência mecânica e durabilidade.

Visando o melhor resultado para as propriedades da argamassa de alta resistência, o objetivo do estudo é analisar o comportamento da argamassa composta por cimento Portland – ARI em função do tempo, de acordo com a variação granulométrica da areia, uso de aditivo plastificante e superplastificante, adição e substituição de sílica-ativa e metacaulim para diferentes tipos de traços. O estudo teve como base a verificação da consistência e resistência à compressão e tração da argamassa ao decorrer da idade de cura. Para o desenvolvimento do estudo foram realizados traços de argamassa “natural” como base comparativa. O aferimento da consistência da argamassa foi realizado através do mini slump teste e em seguida confeccionados três corpos de prova para análise de resistência à compressão e tração, para cada traço determinado para a pesquisa.

Estabelecidos os corpos de prova, foram moldados e rompidos com sete e 28 dias de cura, comparando-os com o traço de referência especificado, verificou-se que com o aumento da idade de cura, apresentou-se maiores ganhos de resistência. O estudo realizado tinha como propósito determinar uma argamassa de alta resistência à base de minerais e aditivos. Porém, diante dos resultados expressos foi visto que a argamassa referencial, desenvolvida através da distribuição granulométrica do agregado, apresentou melhores qualidades, desde melhor trabalhabilidade, consistência a resistência mecânica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar os efeitos da adição e substituição de adições minerais na consistência e nas propriedades mecânicas de argamassas de cimento.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar os agregados miúdos por meio do ensaio de análise granulométrica;
- Realizar ensaios laboratoriais para determinar as consistências e propriedades físicas das argamassas;
- Avaliar e comparar as propriedades mecânicas, trabalhabilidade e consistências da mistura após adição e substituição de metacaulim e sílica ativa.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Argamassa**

##### **3.1.1 Definição da argamassa**

A argamassa é confeccionada através da mistura de areia natural, algum tipo de aglomerante, que geralmente o mais utilizado é o cimento Portland, no qual pode conter adições e aditivos para melhorar e modificar algumas condições da argamassa (FIORITO, 2009).

A argamassa de revestimento expõe funções convencionais nas edificações com aplicação de alvenaria de vedação, com as seguintes atribuições: assegurar a estrutura de vedação contra agentes agressivos garantindo durabilidade, buscando redução de custo de manutenção, perante a degradação precoce; atestar o isolamento termoacústico; estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo; e finalidade estética, proporcionando um acabamento sem imperfeições (SABBATINI, 1990).

Ressaltando que, não é função do revestimento de argamassa destrinchar problemas de imperfeições em elementos de alvenaria. Além disto, ao se presenciar o revestimento de argamassa associado a outros revestimentos necessita-se de uma superfície uniforme, com o intuito de garantir melhor aderência e suporte mecânicos para estes (SABBATINI, 1990).

### 3.1.2 Principais característica da argamassa

A argamassa apresenta diversos tipos de aplicabilidade, visto que cada serviço necessita e exige suas propriedades. Segundo Martinelli e Helene (1991), suas particularidades estão apresentadas na Tabela 1.

<b>Tabela 1 - Funções, exigências e propriedades da argamassa</b>		
<b>Uso</b>	<b>Funções/Exigências</b>	<b>Propriedades</b>
<b>Assentamento estrutural</b>	Resistir a esforços mecânicos, unir os elementos da alvenaria e vedar juntas	Trabalhabilidade, retenção de água, resistência mecânica inicial, resistência mecânica final, estabilidade volumétrica e capacidade de absorver deformações
<b>Assentamento convencional</b>	Unir os elementos da alvenaria e vedar juntas	Trabalhabilidade, retenção de água, resistência mecânica inicial, estabilidade volumétrica, capacidade de absorver deformações.
<b>Assentamento de acabamento</b>	Unir elementos de acabamento ao substrato	Trabalhabilidade, retenção de água, aderência, estabilidade volumétrica, capacidade de absorver deformações.
<b>Chapisco</b>	Unir camadas de revestimento ao substrato	Trabalhabilidade e aderência
<b>Emboço</b>	Vendar alvenaria, regularizar superfície e proteger o ambiente de intempéries.	Trabalhabilidade, retenção de água, aderência, estanqueidade e estabilidade volumétrica

**Fonte - (Martinelli;Helene,1991) adaptado pelo autor (2021).**

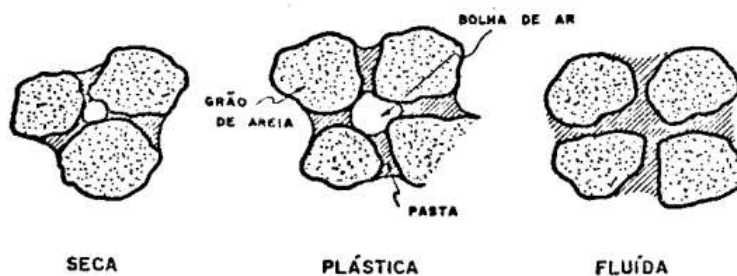
#### 3.1.2.1 *Trabalhabilidade*

É característica da argamassa proporcionar a trabalhabilidade da mistura cimentícia, onde os grãos rolam uns sobre os outros, através do atrito interno, da coesão e viscosidade, de forma indiretamente medida por sua consistência (ROCHA, 2012).

A mistura de argamassa pode ser classificada em três tipos de acordo com sua consistência: seca, plástica e fluída. A mistura seca, a pasta circunda os grãos do agregado preenchendo os vazios tornando-a uma mistura pouco trabalhável. Na argamassa plástica a pasta trabalha de forma similar a um lubrificante sobre as superfícies dos agregados e na mistura fluída, os grãos se espalham devido ao

excesso de líquido e torna-se de fácil segregamento (SABBATINI, 1986). A Figura 1 ilustra as consistências de uma argamassa.

**Imagem 1 - Consistência da argamassa.**



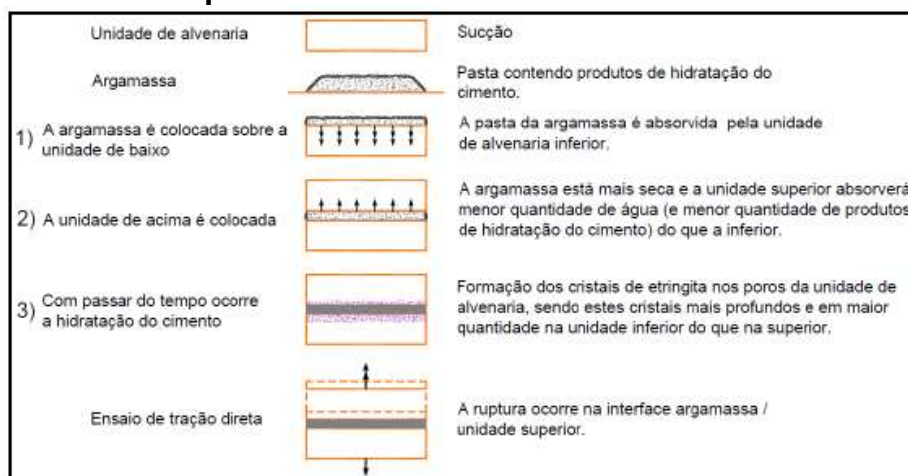
**Fonte - Sabbatini (1986).**

A trabalhabilidade da argamassa é analisada de forma indireta através de uma correlação da consistência da argamassa (SABBATINI, 1986). Os fatores que influenciam na consistência de uma mistura cimentícia são: relação água/cimento; distribuição granulométrica, natureza e qualidade do agregado.

### 3.1.2.2 *Retenção de água*

Segundo o Maciel; Barros; Sabbatini (1998), retenção de água está relacionada com a capacidade da argamassa em reter água de amassamento contra a sucção de base e contra a evaporação. A retenção garante um endurecimento mais gradativo da mistura cimentícia, garantindo a hidratação do cimento e assegurando o ganho de resistência. A rápida perda de água compromete e agrava a aderência, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, e conseqüentemente, durabilidade e estanqueidade do revestimento e vedação. A Figura 2 demonstra a perda de água de argamassa de assentamento.

## Imagem 2- Perda de água da argamassa de assentamento no estado fresco para os blocos de alvenaria.



Fonte - Carasek (2010).

### 3.1.2.3 Resistência mecânica

A resistência mecânica da argamassa está atribuída a suportar esforços de tração, compressão e cisalhamento, devido a cargas estáticas e dinâmicas (NAKAKURA; CINCOTTO, 2014).

As resistências das misturas cimentícias se originam com a cura em função do tempo (SABBATINI, 1986). Visto que, a redução das proporções de agregados e a variação inversamente do fator água/cimento garantem aumento na resistência da mistura (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998). Porém, vale salienta-se que certos manuseios nos traços da argamassa podem promover problemas de trabalhabilidade, consistência e entre outros, e com isso a necessidades da utilização de certos tipos de adições para beneficiar as propriedades necessárias para utilização.

### 3.1.2.4 Estabilidade volumétrica ou retração

A contração volumétrica ou a retração durante a fase plástica e endurecido da argamassa é originada devido as condições expostas (temperatura, umidade velocidade do ar), características intrínsecas dos materiais e seus constituintes, e até pela seção da peça estrutural, referente à área exposta ao ar e outras condições prejudiciais (BUCHER, 1988)

### 3.1.2.5 *Capacidade de absorver deformações*

É a propriedade em que a argamassa na sua fase endurecida suporta aos esforços internos e externos ou de diversas origens, com sua estrutura absorvendo os efeitos e retomando a seu aspecto inicial sem comprometer seu desempenho (Sabbatini e Medeiros, 1994).

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), as capacidades de absorção de deformações da argamassa dependem:

- Módulo de deformação da argamassa: quanto for menor o módulo de deformação, ou seja, menor for o teor de cimento, maior será a capacidade de absorver deformação;
- Espessuras de camadas: espessuras maiores garantem melhores propriedades, porém, deve-se ter cuidado, pois maiores espessuras comprometem à aderência;
- Juntas de trabalho de revestimento: as juntas delimitam panos com dimensões menores, susceptíveis com deformações, contribuindo para que não ocorra fissuras prejudiciais em um revestimento;
- Técnica de execução: a compressão após aplicação da argamassa e do revestimento, realizados no momento correto, vão contribuir para evitar o acontecimento de fissuras.

## **3.2 Análise granulométrica**

O método da análise granulométrica é realizado segundo os procedimentos mediante à NBR NM 248/2003, que consiste na determinação das dimensões das partículas do solo e estuda suas distribuições através do peso de cada grupo dimensional ou pelo seu volume.

As dimensões geométricas distribuídas ao longo da amostra de sedimentos proporcionam através de pesquisas a classificação quanto ao tipo de solo e ao módulo de finura, elementos de rochas que lhe deram origem e ao transporte através da sedimentação, mediante ao conhecimento de maturidade textural, resistência de partículas e sobre ambientes deposicionais. Para se ter uma análise granulométrica mais específica pode ser realizado uma análise pormenorizada, onde

se utiliza baixa variação de amplitude das partículas do solo. Ou seja, ao se analisar uma partícula com menor amplitude de sedimento melhor será o resultado obtido e as descrições e especificações do solo (DIAS, 2004).

### **3.3 Componentes da argamassa**

#### **3.1.3 Aditivos plastificante e superplastificantes**

Os aditivos são produtos adicionados às misturas de argamassa ou concreto, agindo na forma fresca ou endurecido com o intuito de proporcionarem melhores propriedades mecânicas (MEHTA;MONTEIRO, 2014).

De acordo com a NBR 11768/2019, os aditivos são produtos incrementados à mistura de argamassa ou concreto com uma quantia inferior à 5% do teor de cimento contido na mistura, para o concreto projetado a fração é superior à 5% do teor de cimento Portland.

Os aditivos são produtos originados com o intuito de proporcionarem melhores condições às misturas nas quais serão utilizadas. Porém, é necessário conhecer as características do traço e dos elementos utilizados na mistura antes da incrementação. Pois os aditivos podem apresentar resultados distintos de acordo com cada tipo de traço e características específicas diferentes utilizadas para mistura.

Os aditivos redutores de água ou plastificantes são produtos que garantem a redução de água em misturas cimentícias e que não alteram sua consistência no estado fresco, modificando-a de forma benéfica gerando melhor fluidez e abatimento. Aditivo de alta redução de água ou superplastificantes permitem redução de água sem alterar sua consistência no estado fresco, proporcionando aumento de fluidez e abatimento, sem alterar a quantidade de água na mistura (ABNT NBR 11768:2019).

Os primeiros plastificantes desenvolvidos apresentaram uma capacidade de redução de água maior que 5% para concreto sem a presença de aditivos. A partir do avanço e estudos realizados foram desenvolvidos superplastificantes do tipo I, no qual proporciona redução de água >12%, podendo ser empregados em dosagem elevadas, sem comprometer o processo de hidratação da mistura. Os aditivos

superplastificante do tipo II garantem redução >20% de água, de acordo com a base química e dosagem aplicada ao processo, garantindo trabalhabilidade sem prejudicar a pega e as propriedades mecânicas da mistura cimentícia (ABNT NBR 11768:2019).

#### **3.1.4 Cimento Portland**

O cimento Portland é reconhecido mundialmente como o principal material utilizado na construção civil. Material ao qual reage diretamente à mistura de água com areia e pedra britada, para obter concreto, e agregado miúdo originando argamassa, além da incrementação de outros produtos que proporcionam melhores condições e resultados satisfatórios à mistura final.

As peculiaridades mecânicas da mistura cimentícia variam de acordo com as proporções e qualidade dos materiais utilizados. O teor de cimento é o responsável principal pelo rendimento da argamassa ou concreto, sendo comparado à mistura convencional. Porém, vale salientar que a determinação dos tipos e amplitude das dimensões das partículas de agregado, método de mistura, fator a/c, teor de aditivos químicos, metacaulim e sílica ativa influenciam diretamente a qualidade e as propriedades mecânicas da argamassa.

Conforme é expresso na ABNT NBR 16697:2018 sobre o Cimento Portland, o mesmo é obtido através da moagem do clínquer Portland, ao qual se adiciona um ou mais formas de sulfato de cálcio e adições de minerais em quantidades expressas por esta Norma. O cimento Portland é especificado de acordo com sua composição de adições e propriedades específicas, como é mostrada na Quadro 1.

**Quadro 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.**

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25,32 ou 40 <sup>a</sup>	RS <sup>a</sup> ou BC <sup>b</sup>
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI <sup>d</sup>	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25.32 ou 40 <sup>c</sup>	
	Não-estrutural	CPB	-	-

<sup>a</sup> O sufixo RS significa resistente a sulfato s e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais;

<sup>b</sup> O sufixo BC significa baixo colar de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais;

<sup>c</sup> As classes 25,35 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (Mpa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215;

<sup>d</sup> Cimento Portland de alta resistência inicial CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 Mpa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

**Fonte: ABNT NBR 16697/2018 adaptado pelo autor (2021).**

A determinação do tipo de cimento Portland deve ser realizada de acordo com os fins de sua utilização, caso se faça o manuseio de um cimento que não dará o resultado ideal, poderão ocorrer problemas.

### 3.1.5 Areia

A areia ou material granular são extraídos nos leitos dos rios sendo predominantemente compostas por quartzo, resultante da sedimentação do material silicoso e pela erosão das rochas quartzosas (JÚNIOR, 2005).



Os tipos de agregados constituintes para argamassa devem ser determinados com cautela, pois constituem boa parte do traço da mistura cimentícia influenciando diretamente no comportamento da argamassa. Os principais aspectos relativos considerados à areia natural são: composição mineralógica e granulometria, dimensões de agregado, forma e rugosidade superficial dos grãos, massa estável, inchamento, comportamento de argamassa produzida com areia referente e manutenção das características da areia (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

Os parâmetros granulométricos da areia utilizada na argamassa instigam a influenciar de forma a seguir, conforme apresentado na Tabela 2:

**Tabela 2 - Influência dos parâmetros granulométricos nas principais propriedades das argamassas.**

<b>Propriedades</b>	<b>Quanto menor o módulo de finura</b>	<b>Quanto mais descontínua for a granulometria</b>	<b>Quanto maior o teor de grãos angulosos</b>
Trabalhabilidade	MELHOR	PIOR	PIOR
Retenção de água	MELHOR	VARIÁVEL	MELHOR
Resiliência	VARIÁVEL	PIOR	PIOR
Retração na secagem	AUMENTA	AUMENTA	VARIÁVEL
Porosidade	VARIÁVEL	AUMENTA	VARIÁVEL
Aderência	PIOR		MELHOR
Resistência Mecânicas	VARIÁVEL	PIOR	VARIÁVEL
Impermeabilidade	PIOR		

**Fonte: Sabbatini (1998) adaptado pelo autor (2021).**

### **3.1.6 Sílica ativa**

A ciência tem um elevado propósito que é em beneficiar e agregar ao desenvolvimento da indústria da construção civil. As misturas cimentícias podem usufruir de resultados satisfatórios através da substituição ou incrementação parcial por minerais de sílica ativa. O alto teor de cimento proporciona a aglomeração de partículas de finos em contato com a água, no qual afeta diretamente o comportamento do estado fresco e endurecido da argamassa ou concreto.

Neste sentido, materiais concebidos através da mistura de cimento vêm garantindo a utilização de sílica ativa, produto composto por partículas com formato esfericamente perfeito, com diâmetro variando entre 0,02 à 0,5 µm (micrômetro) com área superficial de 20 m<sup>2</sup>/g (ANJOS et al., 2004).

De acordo com à ABNT NBR 13956:2012, a sílica ativa é um produto obtido pelo processo de fabricação do sílico metálico ou por ligas de ferro-sílico 75% levados a fornos elétricos, liberando gás  $\text{SiO}_2$  durante o seu processo, captadas por filtros coletores. Este produto apresenta formatos esféricos e dimensões menores que  $10^{-6}$  metros no estado amorfo coletos por filtros coletores.

A sílica ativa permite o preenchimento de vazios devido à distribuição granulométrica, garantindo assim melhor empacotamento entre as partículas e resultado na redução da utilização de água devido à reação pozolânica (ROMANO et al., 2008). E, conseqüentemente, garantindo elevação da resistência mecânica e compacidade da mistura cimentícia. A sílica deve atender aos seguintes requisitos demonstrados no Quadro 2.

**Quadro 2 - Requisitos químicos e físicos da sílica ativa.**

Determinação	Unidade	Limite	Método de limite
$\text{SiO}_2^a$	%	$\geq 85,0$	ABNT NBR 13956-2
Umidade <sup>b</sup>	%	$\leq 3,0$	
Perda ao fogo <sup>a</sup>	%	$\leq 6,0$	
Equivalente alcalino em $\text{Na}_2\text{O}^a$	%	Informar	
Teor de sólidos na dispersão aquosa <sup>c</sup>	%	Não pode variar mais do que $\pm 2\%$ do valor declarado pelo fabricante	
Índice de desempenho com cimento Portland aos 7 dias	%	$\geq 105$	ABNT NBR 13956-3
Finura por meio da peneira 45 $\mu\text{m}$	%	$\leq 10,0$	ABNT NBR 13956-4
Área específica B.E.T. (opcional) <sup>d</sup>	$\text{m}^2\text{g}^{-1}$	$15 \leq \text{B.E.T.} \leq 30$	ASTM C 1069

<sup>a</sup> A análise química, incluindo a perda ao fogo, deve ser realizada na base seca, ou seja, após a determinação do teor de umidade a  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

<sup>b</sup> Não se aplica à sílica ativa na forma de dispersão aquosa (3.4).

<sup>c</sup> Não se aplica à sílica ativa nas formas densificada (3.2) e não densificada (3.3)

<sup>d</sup> O ensaio para a determinação da área específica, pelo método da ASTM C 1069, de acordo com o princípio proposto por Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.), substituindo-se alumina e quartzo por sílica ativa, deve ser realizado pelo produtor quando solicitado pelo consumidor.

**Fonte: NBR 13956/2012 adaptado pelo autor (2021)**

### **3.1.7 Metacaulim**

Conforme prescrito pela ABNT NBR 15894:2010, o metacaulim é um produto obtido através da calcinação e moagem de argilomenarias calcináticas originando um tipo de pozolana, constituída por partículas lamares com estrutura majoritadamente não cristalina.

As reações obtidas entre o Metacaulim e o cimento Portland alteram a reologia das misturas de argamassa, concreto e pasta, no estado fresco e garantem o aumento das propriedades mecânicas e de durabilidade no estado endurecido, tais como: elevação da resistência à compressão e à flexão, redução da porosidade e permeabilidade, aumento da resistência de sulfatos, resistência à difusibilidade de íons de cloreto, mitigação da reação álcali-agregado, redução da ocorrência de eflorescência e aumento da resistividade elétrica. Além da elevação da área superficial, garantindo otimização da distribuição granulométrica, contribuição de retenção de água, facilidade ao acabamento, redução de exsudação e melhor coesão (ABNT NBR 15894:2010)

A norma brasileira apresenta requisitos que o metacaulim deve atender, os quais estão expressos no Quadro 3.

**Quadro 3 - Requisitos químicos e físicos.**

<b>Componente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limite</b>	<b>Método de ensaio</b>
SiO <sub>2</sub>	%	≥44,0 e ≤65,0	ABNT NBR NM 22 ou ABNT NBR 14656
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	≥32,0 e ≤46,0	ABNT NBR NM 11-2 ou ABNT NBR 14656
CaO + MgO	%	≤1,5	ABNT NBR NM 11-2 ou ABNT NBR 14656
SO <sub>3</sub>	%	≤1,0	ABNT NBR NM 16
Na <sub>2</sub> O	%	≤0,5	ABNT NBR NM 17
Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O	%	≤1,5	ABNT NBR NM 17
Umidade	%	≤2,0	ABNT NBR NM 24
Perda ao fogo	%	≤4,0	ABNT NBR NM 18
Resíduo na peneira com abertura de malha de 45 µm	%	≤10,0	ABNT NBR 15894-3
Índice de desempenho com cimento aos 7 dias	%	≥105	ABNT NBR 15894-2
Índice de atividade pozolânica Chapelle (opcional)	mg <sub>Ca(OH)<sub>2</sub></sub> /g <sub>material</sub>	≥750	ABNT NBR 15895
Área específica B.E.T. (opcional)	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	≥15	ASTM C-1069
A análise química, incluindo a perda ao fogo, deve ser realizada na base seca, ou seja, após a determinação do teor de umidade a (105 ± 5) °C.			
A critério do consumidor, podem ser solicitados os ensaios de atividade pozolânica pelo método preconizado pela ABNT NBR 15895 (método de Chapelle) e ensaio para determinação da área específica pelo método ASTM C-1069, de acordo com o princípio proposto por Brunauet, Emmett e Teller (B.E.T.), que devem quando solicitados, atender aos valores mínimos apresentados na Tabela 1.			
NOTA: Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O → Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> = 0,658 %K <sub>2</sub> O + %Na <sub>2</sub> O			

**Fonte: ABNT NBR 15894/2010 adaptado pelo autor (2021).**

### 3.2 Preparo da argamassa

O traço constituinte para argamassa deve ser determinado pelo responsável técnico seguindo as especificações e condições atribuídas em projeto. A medição do traço pode ser expressa em volume, porém é de responsabilidade do construtor a conversão para traço em massa (ABNT NBR 7200:1998).

A ABNT NBR 7200:1998 determina os seguintes critérios para preparação na mistura da argamassa:

- a) A argamassa pode ser misturada pelo processo mecanizado, ou em casos excepcionas, por processo manual, até a obtenção da mistura perfeitamente homogênea;
- b) Na mistura mecanizada o tempo de processamento deve ser entre 3 a 5 minutos. Na mistura manual deve ser preparada volumes de argamassa inferior à 0,05 m<sup>3</sup> por vez.

Conforme Júnior (2005) menciona, alguns atributos podem ser tomados no processo de mistura mecanizada, que são:

- a) Não iniciar a mistura com incrementação de cimento, pois isso pode ocasionar certa perda de material;
- b) Evitar o primeiro contato do cimento com a água devido a formação de camadas de argamassa nas paredes e pás do misturador;
- c) O primeiro material a ser posto no misturador é o agregado miúdo e em seguida água, posteriormente adição do aglomerante.

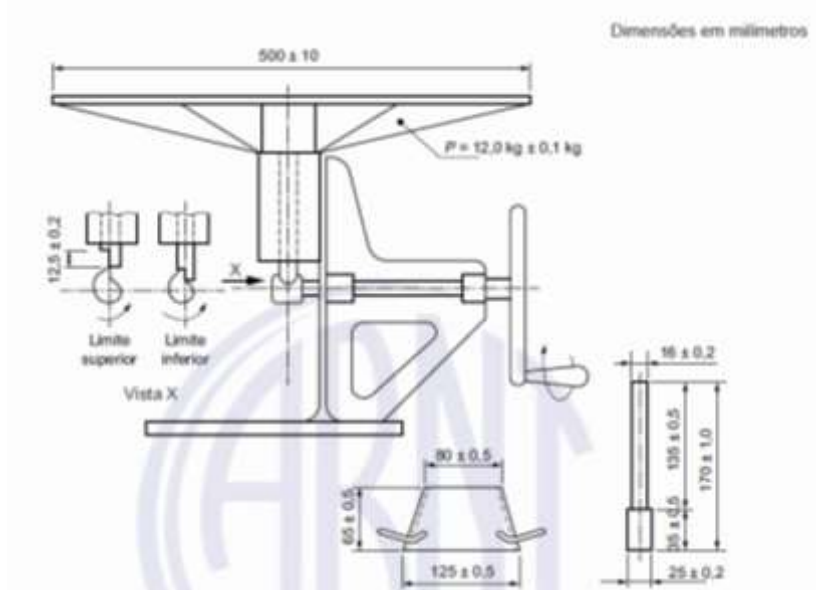
### **3.3 Índice de consistência**

As determinações para o índice de consistência da argamassa foram realizadas pela ABNT NBR 7215:2019. Para cada traço foi analisado a consistência da argamassa e moldado três corpos de prova, seguindo os seguintes requisitos:

- A mistura é preparada conforme especificado pelo responsável técnico;
- Ligeiramente após a mistura cimentícia pronta, lubrifica-se a mesa do aparelho, a forma troncônica e o soquete com desmoldante, e coloca-se o conjunto de equipamento sobre a mesa com a base maior do molde apoiado. Um auxiliar deve manter a forma em uma posição fixa enquanto o operador adiciona argamassa ao molde troncônico, através de três camadas nas mesmas proporções, aplicando 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, uniformemente distribuídos. Remover o excesso de argamassa do topo da forma e rasar à superfície com uma espátula;
- Após o preenchimento, retirar imediatamente a forma em movimento vertical, e em seguida, mover a manivela do aparelho para que a mesa caia 30 vezes em, aproximadamente, 30 segundos;

- Por fim, aferir o diâmetro da base do tronco de cone de argamassa, após o abatimento. O índice de consistência é a média aritmética das medidas de duas direções. Caso a diferença entre a medida de duas direções for superior à 5 mm deve ser repetido todo o processo.

**Imagem 3- Aparelho para determinação de consistência da argamassa.**



Fonte: ABNT NBR 7215:2019.

### 3.4 Resultados do ensaio

#### 3.4.1 Resistência à compressão

O resultado individual para cada corpo de prova é expresso em Megapascal (MPa), dividindo a carga de ruptura pela área da seção do molde ensaiado.

Conforme à ABNT NBR 7215:2019 os resultados obtidos foram determinados através de:

- Constatar as resistências individuais de cada corpo de prova, com a mesma idade, ensaiados e em seguida atribuir a resistência média dos quatro corpos-de-prova;

- Determinar o desvio relativo máximo dos corpos de prova analisados, através da divisão do valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afasta da média e multiplicado por 100;
- O desvio relativo máximo for superior à 6%, deve-se calcular uma nova média desprezando o valor discrepante. Resultado persistindo, eliminar os corpos de prova de todas as idades e refazer totalmente o ensaio;
- Resultados apresentados referentes à mesma idade, pelo mesmo operador diante a mesma amostra, utilizando o mesmo equipamento, não devem ultrapassar 10% de média;
- Resultados apresentados a mesma idade, obtidos por dois operadores em laboratórios diferentes, a parti da mesma amostra, não devem ultrapassar 15% de diferença.

#### **3.4.2 Resistência à tração por compressão diametral**

A ABNT NBR 7222:2010 determina que os corpos de provas devem ser posicionados, de forma com que o esforço axial coincida com o eixo de aplicação, entre os pratos da máquina. Em seguida a carga é aplicada continuamente, de forma evitar que ocorra choques contra o corpo de prova, com aumento constante de tensão de tração com uma velocidade  $(0,05 \pm 0,02)$  Mpa/s até ruptura do corpo de prova. A resistência à tração por compressão diametral deve ser determinada pela expressão:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 F}{\pi d \ell}$$

**Equação 1**

Em que:

- $f_{ct,sp}$  - é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos, em mega pascal (MPa);
- $F$  - é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N);
- $d$  - é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);
- $l$  - é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).



## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Dosagem

O traço para argamassa inicial foi realizado a partir do traço de 1:1, sendo composto em volume de cimento e agregado miúdo, com adições de aditivos plastificante (P) e super plastificante (SP), em porcentagem referente à massa de cimento, variando a distribuição granulométrica entre areia natural (AN), areia média grossa (AMG), areia média fina (AMF) e areia fina passante na peneira 0,6 µm sem o fundo (AF<sub>2</sub>). Os traços utilizados em massa (g) estão representados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Traços para comparação da argamassa inicial.**

Traço	Cimento (g)	Distribuição da areia	Areia (g)	Água (g)	Tipo aditivo	Aditivo (g)
T1a	630	AN	630	0,3	P	14,83
T2a	630	AN	630	0,3	SP	1,26
T3a	630	AM	630	0,3	P	14,83
T4a	630	AM	630	0,3	SP	1,22
T5a	630	AMF	630	0,3	P	21,56
T6a	630	AMF	630	0,3	SP	2,44
T7a	630	AF <sub>2</sub>	630	0,3	SP	4,88

**Fonte – Autor (2021).**

Notas:

- Areia natural (NA) – material passante na peneira 2,4 mm;
- Areia média (AM) – material passante na peneira de 1,2 mm;
- Areia média fina (AMF) – material passante na peneira 0,6 mm;
- Areia fina 2 (AF<sub>2</sub>) – material passante na peneira 0,6 mm sem o fundo.

Foram analisadas as propriedades dos traços ensaiados anteriormente, determinando a melhor propriedade mecânica entre os traços de argamassa. Em seguida, foi atribuído aos traços substituições de metacaulim (5, 10 e 15%), e de sílica ativa (5%). A tabela 4 apresenta os traços em massa.

**Tabela 4 - Traço em massa da argamassa analisada com sílica ativa e metacaulim.**

<b>ID</b>	<b>Cimento (kg)</b>	<b>Areia (kg)</b>	<b>Água (kg)</b>	<b>MC (kg)</b>	<b>SA (kg)</b>	<b>Aditivo (kg)</b>
T0-1	0,689	0,689	0,207			
T0-2	0,689	0,689	0,207			
T0-3	0,689	0,689	0,207	-	-	5,51E-03
T0-4	0,689	0,689	0,207			
T1m	0,689	0,689	0,253	0,34		
T2m	0,689	0,689	0,261	0,68		
T3m	0,689	0,689	0,277	0,103		
T4m	0,654	0,689	0,241	0,34	-	5,51E-03
T5m	0,62	0,689	0,241	0,68		
T6m	0,585	0,689	0,241	0,103		
T1-1	0,655	0,689	0,253	0,034	0,034	
T1-2	0,655	0,689	0,253	0,034	0,034	
T1-3	0,655	0,689	0,253	0,034	0,034	5,24E-03
T1-4	0,655	0,689	0,253	0,034	0,034	
T2-1	0,620	0,689	0,253	0,069	0,034	
T2-2	0,620	0,689	0,253	0,069	0,034	
T2-3	0,620	0,689	0,253	0,069	0,034	4,96E-03
T2-4	0,620	0,689	0,253	0,069	0,034	
T3-1	0,586	0,689	0,253	0,103	0,034	
T3-2	0,586	0,689	0,253	0,103	0,034	4,69E-03

**Fonte – Autor (2021).**

## **4.2 COMPONENTES DA ARGAMASSA**

### **4.2.1 Cimento Portland**

O aglomerante utilizado na confecção das argamassas foi o cimento Portland CP V – ARI (Alta Resistência Inicial) MAX da Cimento Nacional.

### **4.2.2 Agregado miúdo**

A caracterização do agregado utilizado, encontrado na cidade de Araruna-PB, na mistura da argamassa foi baseada de acordo com NBR NM 248:2003, determinando a porcentagem em peso que cada variação granulométrica representada na massa total.

Assim sendo, foi determinado uma amostra de 1000 g de agregado miúdo, à qual foi seco em estufa por cerca de 24 horas com uma temperatura de, aproximadamente, 105°C. Posteriormente, foi realizado o quarteamento, e em seguida, o peneiramento de duas amostras de 500 g através da sequência de peneiras de série normal, de forma manual.

Após o processo de peneiramento o material retido em cada peneira foi separado e pesado, como mostrado na Tabela 5.

**Tabela 5 - Distribuição granulométrica do agregado.**

Composição Granulométrica – NBR NM 248						
Peneiras	1º Determinação		2º Determinado		% Retida Média	% Retida Acumulada
mm	Peso Retido (g)	% Retido	Peso Retido (g)	% Retido		
4,75	10,19	1,0	15,9	1,6	1	1
2,36	34,16	3,4	37,07	3,7	4	5
1,18	114,24	11,5	124,63	12,5	12	17
600 um	198,08	19,9	204,44	20,5	20	37
300 um	278,93	28,0	307,72	30,8	29	66
150 um	229,76	23,1	215,28	21,6	22	89
fundo	130,56	13,1	93,51	9,4	11	100
Total	995,92	100,0	998,55	100,0	100	

**Fonte – Autor (2021).**

Conferindo a amostra total do material retido nas peneiras e no fundo com a massa seca inicial, é visto que a diferença de amostra ficou dentro do limite de 0,3%, como é prescrito pela NBR NM 248:2003, como visto na Tabela 6.

**Tabela 6 - Verificação da massa total seca com as retidas no fundo e nas peneiras.**

Verificação da massa total seca com as retidas nas peneiras e no fundo					
Determinação	total amostra 1 (g)	total amostra 2 (g)	total (g)	%	média %
1	500,27	500,05	1000,32	99,56	99,70
2	500,05	500,14	1000,19	99,84	

**Fonte – Autor (2021).**

#### **4.2.3 Aditivo plastificante e superplastificante**

O plastificante recorrido foi o Aditivo Plastificante Sika Concreto Forte 1 L, com densidade de 1,06kg/L referente a NBR 11768. Superplastificante SUPERFLOW com aparência do tipo pó proporcionando redução de água na argamassa >30%.

#### **4.2.4 Sílica ativa**

A Sílica Ativa utilizada foi desenvolvida pela empresa Ferbasa composta por propriedades químicas, com teor de  $\text{SiO}_2$  >85%, e físicas (superfície específica média 20m<sup>2</sup>/g).

#### **4.2.5 Metacaulim**

A Metacaulim BZ-4<sup>TM</sup> – pozolana de alta reatividade que apresenta massa específica de 2.560Kg/m<sup>3</sup>.

### **4.3 Preparação da argamassa**

O primeiro traço de argamassa, caracterizado como T0, foi realizado através da mistura manual. Após o traço T1, todas as misturas foram de forma mecanizadas, através da utilização de um recipiente de alumínio, uma furadeira e uma haste misturadora de argamassa, com o propósito de facilitar o processo de mistura e garantir a homogeneização da argamassa.

Os componentes da argamassa foram adicionados ao recipiente misturador em partes e em intervalos de tempo há cada 30 segundos de mistura. Para o traço caracterizado por T0, sem presença de sílica ativa e metacaulim, a argamassa foi misturada da seguinte forma:

- 1º Etapa: Adicionado agregado miúdo e misturado por 30 segundos;
- 2º Etapa: Inserido o cimento Portland para mistura;

- 3º Etapa: Adicionado  $\frac{1}{2}$  da porção de água e processado todo o material. Foi necessário a remoção do excesso de argamassa nas paredes do recipiente misturador com uma espátula;
- 4º Etapa: Misturado novamente os componentes com  $\frac{1}{2}$  de aditivo dissolvido em água;
- 5º Etapa: Verificado a necessidade de remoção de argamassa fixada na parede do misturador. Caso não seja preciso de outra mistura a argamassa estará pronta para moldar os corpos de prova.

Os traços confeccionados com metacaulim foram realizados a partir das seguintes etapas:

- 1º Etapa – 4º Etapa: Foram realizadas conforme o procedimento anterior;
- 5º Etapa: Verificado novamente o excesso de argamassa presa nas paredes do recipiente. A seguir, incrementar o metacaulim ao misturador e misturar todos os componentes;
- 6º Etapa: o restante de aditivo dissolvido em água foi adicionado. Finalizando a mistura diante os 30 segundos de mistura final.

As argamassas que foram compostas por sílica ativa e metacaulim seguiram os seguintes requisitos:

- 1º Etapa: Inicialmente foram misturados manualmente todos os elementos pulverulentos com o agregado miúdo em um recipiente plástico, e colocados no recipiente de alumínio para mistura mecanizada por 30 segundos;
- 2º Etapa: Adicionou-se uma quantidade de água e processado todos os elementos;
- 3º Etapa: Após o tempo de mistura, foi verificado e retirado o acúmulo de componentes fixados ao entorno do material misturador. Diante disso, incrementado  $\frac{1}{2}$  aditivo dissolvido em água e em seguida misturado;
- 4º Etapa: Analisou-se novamente o excesso de material fixado nas bordas do recipiente. Que se necessário foi feito a remoção;

- 5° Etapa: Por fim, a quantidade restante de aditivo dissolvido em água foi adicionada e misturada novamente aos componentes.
- 6° Etapa: Caso não haja muito material retido no entorno do misturador, não é preciso misturar novamente e a argamassa está apta para moldar os corpos de prova.

#### **4.4 Índice de consistência**

O índice de consistência foi realizado seguindo todas as orientações descritas na NBR 7215/2019. Foi realizada uma análise de consistência para cada traço, onde proporcionou à confecção de três corpos de prova.

Para a determinação da consistência da argamassa foram utilizados a mesa de determinação de consistência de concreto, molde tronco cônico do mini slump test e soquete. Todos os equipamentos foram umedecidos com desmoldante antes cada utilização.

Após a mistura da argamassa, explicita no item 4.3, foi preenchido no centro da mesa o molde tronco cônico utilizando espátulas. Enquanto o molde era fixado firmemente sobre a mesa por um dos operadores, para que não houve deslocamento, a argamassa estava sendo alocada no interior do tronco cônico em três camadas, aproximadamente iguais e totalizando um 1/3 da altura do molde, aplicando golpes com o auxílio do soquete em cada camada, respectivamente de, 15, 10 e 5 golpes.

Após o preenchimento foi realizado o rasamento do excesso de argamassa rente à borda do molde, além de realizar limpeza sobre a mesa ao entorno do molde para que não fosse prejudicado no processo de medição de consistência.

Com o molde tronco cônico removido, a mesa foi movimentada verticalmente, com a argamassa sobre ela, com deslocamento limitado por ajuste técnico à uma altura de, aproximadamente, 3 (três) cm (centímetros), de 30 em 30 segundos. Em seguida, a medição do diâmetro da argamassa foi obtida em duas direções, possibilitando assim a determinação do índice de consistência para cada traço.

## 5. RESULTADOS

Serão apresentados os resultados pelos quais as argamassas analisadas foram submetidas, desde o estado fresco até o endurecido.

Os desempenhos das argamassas variam de acordo com suas características no estado plástico, garantindo boa trabalhabilidade para seu assentamento e capacidade de retenção de água para hidratação da mistura. No estado endurecido, é assegurada as resistências mecânicas de compressão, tração e aderência.

### 5.1 Índice de consistência

Este ensaio teve como intuito a determinação e obtenção das condições de trabalhabilidade iguais entre todos os traços de argamassa a base das distribuições granulométricas do agregado, onde a relação água/cimento e o aditivo foram postos com o intuito de determinar índices de consistência de 165 mm ( $\pm 5$  mm). A partir das análises das argamassas no estado fresco, os índices de consistências obtiveram-se os seguintes resultados, expressos na Tabela 7:

**Tabela 7 - Análise da consistência da argamassa através da distribuição granulométrica.**

ID	Slump (mm)		
	x	y	Média
T1a	133	131	132
T2a	130	129	129.5
T3a	129	127	128
T4a	135	129	132
T5a	135	140	137.5
T6a	130	140	135
T7a	165	170	167.5

**Fonte – Autor (2021).**

Como pode-se observar na Tabela 7, os valores de índice de consistência apresentaram valores relativamente próximos, apenas com o traço T9a garantindo boa trabalhabilidade e consistência. Estes traços foram confeccionados com o intuito

de serem analisados a influência do teor de finos, de acordo com a distribuição granulométrica do agregado, como traço referência para os outros traços seguintes.

As misturas compostas por aditivo superplastificante demonstraram boa trabalhabilidade e consistência, porém, seus resultados foram semelhantes aos valores das argamassas preparadas com aditivo plastificante, e a mistura confeccionada sem nenhuma adição de aditivo apresentou melhor índice de consistência, no caso do traço T9a. Desta forma, independentemente dos resultados, o estudo foi realizado através da utilização de aditivo superplastificante com areia fina.

**Tabela 8 - Índice de consistência para argamassa natural.**

ID	Slump		Média (mm)
	(mm)	(mm)	
T0-1	165	167	166
T0-2	165	172	168.5
T0-3	175	168	171.5
T0-4	169	173	171

**Fonte - Autor.**

Após a determinação da distribuição granulométrica a ser utilizado foram confeccionados os corpos de prova referente ao traço modelo para comparação. A partir do terceiro traço, denominado por T0-3, foi iniciada a remoção do excesso de argamassa no soquete, por acumular bastante material retido. As Imagens a seguir demonstram as argamassas representadas na Tabela 8:



**Imagem 4 - Ensaio de índice de consistência da argamassa natural T0-1.**



(a) Mini slum teste.



(a) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 5 - Índice de consistência da argamassa natural T0-2.**



(a) Mini slum teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 6 - Índice de consistência da argamassa natural T0-3.**



(a) Mini slum teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 7 - Índice de consistência argamassa natural T0-4.**



(a) Mini slum teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte - Autor (2021).**

**Tabela 9 - Índice de consistência para argamassa com metacaulim.**

ID	Slump		Média (mm)
	Direção x	Direção y	
T1m	170	170	170
T3m	155	135	145
T4m	167	175	171
T5m	155	147	151
T6m	140	140	140

**Fonte – Autor (2021).**

Como expresso na Tabela 9, houve certas divergências nos resultados de medições da consistência da argamassa composta com metacaulim, no qual apresentou variação com entorno de 17,65%.

Os traços T1m, T4m e T5m foram argamassas que apresentaram boa trabalhabilidade e mistura bem plástica, os traços T6m e T3m trouxeram uma mistura menos plástica, dificultando um pouco na moldagem dos corpos de provas e a argamassa do traço T3m dificultou na remoção do tronco cônico do mini slump teste, em que certa quantidade de volume ficou grudada na sua parede interna. Houve a pega mais rápida e os traços não apresentaram trabalhabilidade adequada para o manuseio, problema que deve ter sido originado devido ao teor de finos da mistura, sendo os traços com maior substituição de aglomerante por metacaulim.

O traço Tm-2 foi descartado por apresentar péssimas qualidades para uma mistura de argamassa. A seguir imagens das argamassas à base de metacaulim analisadas na Tabela 9.

**Imagem 8 - Índice de consistência argamassa com metacaulim T1m.**



(a) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 9- Índice de consistência argamassa com metacaulim T3m.**



(a) Mini slum teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 10 - Índice de consistência da argamassa com metacaulim Tm4.**



(a) Mini slum teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 11 - Índice de consistência da argamassa com metacaulim tm5.**



(a) Mini slum teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte - Autor (2021).**

**Tabela 10 - Índice de consistência para a argamassa com substituição de 5% de metacaulim e sílica ativa.**

ID	Slump		Média (mm)
	(mm)	(mm)	
T1-1	183	183	183
T1-2	179	182	180,5
T1-3	188	182	185
T1-4	174	172	173

**Fonte – Autor (2021).**

As argamassas representadas na Tabela 10 foram realizadas com substituição de 5% de metacaulim e sílica ativa, no qual compreenderam uma mistura menos coesa, com boa plasticidade e trabalhabilidade. A mistura realizada apresentou pequena alternância nos valores medidos no índice de consistência, resultados no quais apresentaram consistência pouco superior à esperada. As imagens abaixo demonstram as argamassas confeccionadas com substituições de sílica ativa e metacaulim da Tabela 10.

**Imagem 12- Índice de consistência argamassa realizada com metacaulim e sílica ativa – T1-1.**



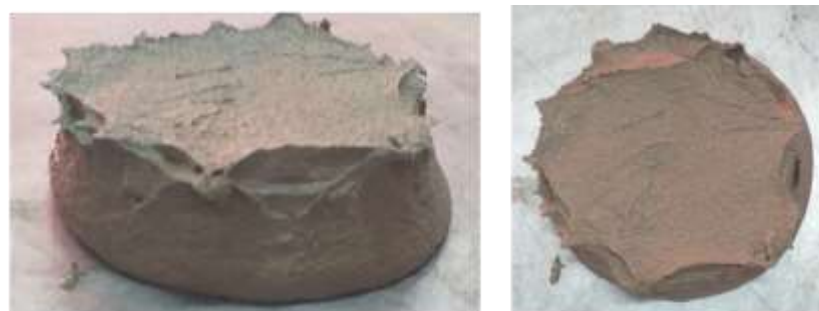
(a) Mini slum teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 13- Índice de consistência da argamassa com metacaulim e sílica ativa T1-2.**



(a) Mini slum teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 14- Índice de consistência da argamassa metacaulim e sílica ativa T1-3.**



**(a) Mini slum teste.**



**(b) Índice de consistência da argamassa.**

**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 15- Índice consistência da argamassa com metacaulim e sílica ativa T1-4.**



**(a) Mini slum teste.**



**(b) Índice de consistência da argamassa.**

**Fonte – Autor (2021).**



**Tabela 11 - Índice de consistência da argamassa com substituição de 10% metacaulim e 5% sílica ativa.**

ID	Slump		Média
	(mm)	(mm)	
T2-1	150	150	150
T2-2	149	145.5	147.25
T2-3	146	145	145.5
T2-4	145	152	148.5

**Fonte – Autor (2021).**

Os traços de argamassa representado na Tabela 11 foram realizados através da substituição de metacaulim e sílica ativa, com valores, respectivamente de, 10% e 5%. As misturas apresentam oscilações consideráveis na medição do slump, com trabalhabilidade inferior, comparado aos traços T1. Devido ao excesso de finos utilizados na argamassa sua consistência foi baixa, necessitando assim de uma análise mais aprofundada, alternando o teor de substituição de metacaulim, sílica ativa, aditivos e água/cimento. As imagens abaixo expressam as argamassas analisadas na Tabela 11.

**Imagem 16- Índice consistência da argamassa T2-1.**



(a) Mini slump teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 17- Índice de consistência argamassa T2-2.**



**(a) Mini slump teste.**



**(b) Índice de consistência da argamassa.**

**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 18- Índice de consistência da argamassa T2-3.**



**(a) Mini slump teste.**



**(b) Índice de consistência da argamassa.**

**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 19- Índice de consistência da argamassa T2-4.**



(a) Mini slump teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte – Autor (2021).**

**Tabela 12 - Índice de consistência da argamassa com substituição de metacaulim 15% e sílica ativa 5%.**

ID	Slump		
	(mm)	(mm)	Média
T3-1	139	142	140.5
T3-2	147	147	147

**Fonte– Autor (2021).**

As misturas para estes traços de argamassas foram moldadas na substituição de metacaulim e sílica ativa nas proporções, respectivamente de, 15 e 5%. Os resultados obtidos das medições dos índices de consistência não apresentaram variações exageradas.

Comparando os traços T2 e T3, é possível visualizar a perda de consistência das argamassas devido ao aumento de finos por conta da quantidade de metacaulim superior, necessitando de uma análise de redução do teor de finos ou aumento de água para se encontrar as propriedades adequadas de consistência determinada. O

traço T3-1 necessitou de uma mistura a mais, cerca de 30 segundos, pois havia certa quantidade de material retido e seco no fundo do recipiente misturador. As imagens a diante demonstram as argamassas moldadas referentes a Tabela 12.

**Imagem 20- Índice de consistência argamassa T3-1.**



(a) Mini slump teste.



(b) Índice de consistência da argamassa.

**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 21- Índice de consistência argamassa T3-2.****(a) Mini slump teste.****(b) Índice de consistência da argamassa.****Fonte – Autor (2021).**

A utilização da adição e substituição de metacaulim teve como intuito proporcionar e analisar a maior durabilidade e resistência mecânica das argamassas, porém, devido a sua utilização o teor de água da mistura pode variar de acordo com as características do traço e a forma de manusear o metacaulim.

Os traços das argamassas moldados foram avaliados com substituições e adições de 5,10 e 15 %. Diante dos resultados analisados foi perceptível que os traços moldados com substituição e adição de 5% de metacaulim apresentaram melhores índices de consistência, alternando entre eles os valores dos resultados cerca  $\pm 1$  mm.

A incrementação na substituição de sílica ativa na argamassa moldada com metacaulim, tem como intuito garantir uma mistura que proporcione menor número de vazios, maior coesão, aumento de porosidade de transição entre pasta e agregado e elevação da durabilidade.

Devido à elevada finura da sílica ativa, seu manuseio foi realizado em local totalmente fechado, para que não houvesse perda de material. Como a análise da mistura preparada com metacaulim proporcionou a determinação sobre qual o melhor traço.

Em relação ao índice de consistência, foi realizada a substituição e adição de sílica ativa, originando uma mistura realizada com substituições e adições de metacaulim e sílica ativa. No entanto, devido à quantidade de finos, foi necessário maior teor de água para que houvesse a hidratação de todas as partículas

## **5.2 Resistência da argamassa**

Os resultados apresentados referentes às resistências mecânicas das argamassas foram baseados conforme os aspectos apresentados pela ABNT NBR 13281:2008.

As curas dos corpos de prova foram realizadas através do processo por cura úmida e em ambiente coberto, conforme a ABNT NBR 5738/2015.

### **5.2.1 Resistência à compressão**

As argamassas foram preparadas e confeccionadas através do traço 1:1 com variações de distribuições granulométrica, adições e substituições de metacaulim, sílica ativa e aditivos plastificantes e superplastificantes.

A ABNT NBR 7215:2019 determina valores inferiores para o DRM e a repetitividade, respectivamente de, 6 e 10%, com isso os traços que apresentaram valores inferiores serão considerados anulados para as verificações.

Os desempenhos das argamassas variam de acordo com suas características no estado plástico, garantindo melhor trabalhabilidade para seu assentamento e sua capacidade de retenção de água para hidratação da mistura. No estado endurecido, é assegurada as resistências mecânicas de compressão, tração e aderência.

A partir dos ensaios para determinação da resistência à compressão, obteve-se os seguintes resultados, conforme Tabela 13.

**Tabela 13 - Resistência à compressão aos 7 dias para os traços realizados com metacaulim.**

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS						
ID	CP1(Mpa)	CP2(Mpa)	CP3(Mpa)	MÉDIA(Mpa)	DRM	REPETITIVIDADE
T1m	40,32	43,04	43,42	42,26	4,59%	0,88%
T2m	66,76	62,26	64,85	64,62	3,66%	4,08%
T4m	-	41,99	46,3	44,15	4,88%	9,76%
T5m	37,6	37,67	36,88	37,38	1,35%	2,12%
T6m	37,37	37,77	34,29	36,48	5,99%	9,66%

**Fonte – Autor (2021).**

É nítido identificar a discrepância entre os resultados apresentados na Tabela 13, visto que o traço T2m apresentou resistência superior aos demais traços, devido a sua composição formada por adição de 10% de metacaulim e maior volume de água, proporcionando melhor resistência mecânica. O corpo de prova CP1 moldado com o traço T4m foi desconsiderado, pois apresentou propriedades mecânicas inferiores a desejada que pode ter ocorrido por motivos de manuseio de equipamentos. As imagens em seguida revelam os corpos de provas realizados com metacaulim expressos na Tabela 13.

**Imagem 22- Corpo de prova T1m realizada com argamassa à base de metacaulim.**



**Fonte – Autor (2021)**

**Imagem 23- Corpo de prova T2m realizada com argamassa à base de metacaulim.**



**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 24 - Corpo de prova T3m realizada com argamassa à base de metacaulim.**



**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 25- Corpo de prova T4m realizada com argamassa à base de metacaulim.**



**Fonte - Autor (2021).**



**Imagem 26- Corpo de prova T5m realizada com argamassa à base de metacaulim.**



**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 27- Corpo de prova T6m realizada com argamassa à base de metacaulim.**



**Fonte – Autor (2021).**

**Tabela 14 - Resistência à compressão aos 7 dias da argamassa realizada com metacaulim e sílica ativa.**

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS						
ID	CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DRM	REPETITIVIDADE
T0	-	56,96	58,95	57,96	1,72%	3,43%
T1	49,01	48,08	50,45	49,18	2,58%	4,81%
T2	-	32,7	30,04	31,37	4,24%	8,48%
T3	46,27	42,29	42,8	43,79	5,67%	1,20%
T4	50,55	48,78	51,46	50,26	2,95%	5,35%
T5	39,52	41,12	39,7	40,11	2,51%	3,51%
T7	48,98	45,79	50,61	48,46	5,51%	10,00%

**Fonte – Autor (2021).**

Visualizando a Tabela 14 e tomando à ABNT NBR 7215:2019 como base desconsiderou-se os corpos de prova do traço T7 por conter repetitividade igual à

10%. Os corpos de provas CP1 dos traços T0 e T2 foram omitidos por apresentarem resultados inferiores ao esperado e por problemas na compactação na moldagem.

O traço T0 foi o único traço realizado sem substituições e incrementos de sílica ativa e metacaulim, mas por apresentar alto teor de cimento apresentou resistência elevada. As imagens abaixo apontam os corpos de provas representados na Tabela 14.

**Imagem 28- Corpos de prova do traço T0 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias.**



Fonte – Autor (2021).

**Imagem 29- Corpos de prova do traço T1 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias.**



Fonte – Autor (2021).

**Imagem 30- Corpos de prova do traço T2 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias.**



**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 31- Corpos de prova do traço T3 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias.**



**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 32- Corpos de prova do traço T4 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias.**



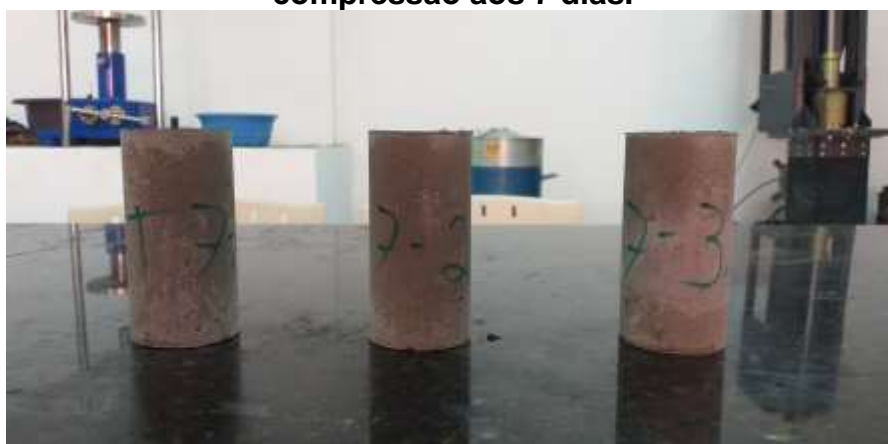
**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 33- Corpos de prova do traço T5 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias.**



**Fonte – Autor (2021)**

**Imagem 34- Corpos de prova do traço T7 da argamassa analisada à compressão aos 7 dias.**



**Fonte – Autor (2021).**

**Tabela 15 - Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas realizadas com metacaulim e sílica ativa.**

<b>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS</b>						
<b>ID</b>	<b>CP7</b>	<b>CP8</b>	<b>CP9</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DRM</b>	<b>REPETITIVIDADE</b>
T0	69,04	74,4	75,18	72,87	5,26%	1,04%
T1	56,67	61,12	58,09	58,62	4,25%	5,08%
T2	55,49	54,97	54,68	55,05	0,81%	0,53%

**Fonte – Autor (2021).**

Os traços determinados para moldagem das argamassas ensaiadas ao 28° (vigésimo oitavo) dia foram elaborados após verificações dos resultados da resistência à compressão e da consistência da argamassa dos corpos de prova rompidos ao 7°(sétimo) dia de cura.

Como esperado os resultados obtidos foram satisfatórios e superiores aos anteriores, os resultados das resistências à compressão dos corpos de prova aos 28 dias estão apresentados na Tabela 15. Estes corpos de provas foram moldados nos mesmos dias do que os rompidos ao 7º (sétimo) dia de cura, apresentados na Tabela 14, porém por terem tido maior tempo de cura úmida, sem sofrer problemas com retração, apresentaram resistência superior. As imagens a seguir demonstram os corpos de prova moldados e representados na Tabela 15.

**Imagem 35- Corpos de prova T0 da argamassa analisa à compressão aos 28 dias.**



Fonte – Autor (2021).

**Imagem 36- Corpos de prova do traço T1 da argamassa analisada à compressão aos 28 dias.**



Fonte – Autor (2021).

**Imagem 37- Corpos de prova do traço T2 da argamassa analisada à compressão aos 28 dias.**



**Fonte - Autor, 2021.**

### **5.2.2 Resistência à tração**

A análise atribuída a Tabela 16 foi de acordo o item 3.3, no qual é baseado pela ABNT NBR 7222:2010, onde possibilita determinar a resistência à tração a partir da análise de compressão diametral do corpo de prova.

**Tabela 16 - Resistência à tração aos 7 dias das argamassas realizadas com metacaulim e sílica ativa.**

<b>RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 7 DIAS</b>						
<b>ID</b>	<b>CP10</b>	<b>CP11</b>	<b>CP12</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DRM</b>	<b>REPETITIVIDADE</b>
T0	13,63	14,57	12,46	13,05	4,48%	8,97%
T1	10,72	9,94	10,30	10,32	3,91%	3,51%
T2	11,32	10,04	10,15	10,50	7,77%	1,12%

**Fonte – Autor (2021).**

Por motivos de falta de equipamentos o ensaio à tração foi realizado de forma indireta, a partir de considerações normatizadas, diante dos corpos de provas que apresentaram melhores resistência à compressão. Visto que foi prevista uma resistência à tração de 10% da resistência à compressão. As imagens abaixo mostram os corpos de provas confeccionados à base de metacaulim e sílica ativa, apresentados na Tabela 16.

**Imagem 38- Corpos de prova T0 da argamassa analisada sobre tração aos 7 dias.**



**Fonte – Autor (2021).**

**Imagem 39- Corpos de prova do traço T1 da argamassa analisada à tração aos 7 dias.**



**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 40- Corpos de prova do traço T2 da argamassa analisada à tração aos 7 dias.**



**Fonte - Autor (2021).**

**Imagem 41 - Corpos de prova do traço T3 da argamassa analisada à tração aos 7 dias.**



**Fonte - Autor (2021).**



## 6. CONCLUSÃO

O mercado construtor brasileiro e mundial vem cada vez mais interagindo e caminhando lado a lado com as inovações tecnológicas. Os clientes almejam imóveis modernos que, em muitos casos, apresentam e necessitam de mão de obra especializada e produtos que garantem qualidade, segurança e agilidade, assegurando uma obra executável com o menor custo-benefício possível. Conveniente a estas necessidades de evolução, este trabalho foi desenvolvido para analisar, ampliar e melhorar as capacidades mecânicas da argamassa, proporcionando uma argamassa de alta resistência através de misturas realizadas com aditivos plastificantes e superplastificantes, substituições e adições de metacaulim e sílica ativa.

Neste sentido, após serem analisadas as consistências das argamassas, optou-se em desenvolver suas resistências mecânicas, com o intuito de uma análise mútua, desde seu índice de consistência – garantindo uma boa trabalhabilidade e manuseio adequado *in loco* – até suas propriedades físicas de resistência à tração e compressão, de forma a verificar se a argamassa teria a capacidade ideal para tais serviços.

Sendo assim não é válido determinar uma argamassa que apresente alta resistência, se sua trabalhabilidade é inferior ao mínimo necessário para seu manuseio de forma prática e adequada. As misturas cimentícias foram analisadas através das resistências à tração e compressão ao sétimo (7º) e vigésimo-oitavo (28º) dia após sua confecção. Os moldes rompidos ao sétimo dia foram utilizados para determinar e supor quais misturas características teriam aos vinte e oito dias.

Alguns traços, após analisados, foram vistos que não apresentariam trabalhabilidade ideal para que fosse utilizada na argamassa, sendo assim não foram analisados ao vigésimo-oitavo dia. Portanto, diante das considerações, o resultado esperado não foi alcançado, tendo o traço T0 como traço referencial, com melhores condições de consistências, apresentando índice de consistência próximo aos 165 mm, melhor trabalhabilidade e consistência, e demonstrando as maiores propriedades mecânicas para resistência à compressão.

## REFERÊNCIAS

ANJOS, R. D. dos; ISMAEL, M. R.; JÚNIOR, F. T. Ramal; PANDOLFELLI, V. C. **Adição de microssílica e a secagem de concretos refratários**. São Carlos, p. 331-335, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2019. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland**, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2005. **NBR 13281/2005 - Argamassa para assentamento e revestimentos e tetos**, Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). 2018. **NBR 16697 : Cimento Portland - Requisitos**, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2012. **NBR 13956/2012 : Sílica ativa para o uso de cimento Portland em concreto, argamassa e pasta**, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2010. **NBR 15894/2010 : Metacaulim para o uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta**, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1998. **NBR 7200/1998 - Execursão de revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas**, Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2019. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2010. **NBR 7222/2010 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2003. **NBR NM 283/2003 - Solo - Análise granulométrica**, Rio de Janeiro, 30 jul. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2015. **NBR 5738/2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, Rio de Janeiro, 2015.

BUCHER, Henrique. **Argamassa de cimento: Características e composição**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1988.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo. 2010.

CAMPOS, Marcos Antônio; PASSOS, Luciano; FERRÃO, André Munhoz de Argollo; JÚNIOR, Armando Lopez Moreno. **Utilização de fíler cerâmico e sílica ativa na composição de argamassa com baixo teor de cimento**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 5, ed. 7, p. 9876-9890, 19 jul. 2019.

DIAS, J. Alverinho. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**. Santa Catarina: Universidade de Algarve, 2004. 84 p.

FIORITO, Antônio J.S.I. **Manual de Argamassa e Revestimentos: Estudo e Procedimentos de Execução**. 2. ed. São Paulo: Editora PINI, 2009.

JÚNIOR, Antônio Neves de Carvalho. **Avaliação de aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. Orientador: Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2005.

SOUZA, Paulo Sérgio Lima; MOLIN, Denise C.C. Da; PICANÇO, Marcelo de Souza; MACÊDO, Alcebiádes Negrão; VASCONCELOS, Adriano Luiz Roma; DE SOUZA, José Victor Brasil. Avaliação do módulo de elasticidade em concreto com metacaulim de alta reatividade, proveniente de rejeito industrial. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 20, ed. 4, p. 982-991, 2015.

MACIEL, Luciana Leone; BARROS, Mércia M.S. Bottura; SABBATINI, Fernando Henrique. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo: [s. n.], 1998. 36 p.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

MARTINELLI, Frederico Augusto; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Usos, funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenaria**. São Paulo, 1991. 15 p.

MEHTA, P. K. U. M.; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. Estados Unidos: Universidade da Califórnia em Berkeley, 2014.

NAKAKURA, Elza Hissae; CINCOTTO, Maria Alba. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. 2014. Boletim técnico (Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2014.

ROMANO, R. C. O.; SCHREURS, H.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Influência da técnica de dispersão nas propriedades de sílica ativa**. ., São Paulo, p. 456-461, 9 jun. 2008.

ROCHA, Rebeca Silva. **Avaliação e comparação das propriedades mecânicas de uma argamassa pronta não cimentícia para alvenaria com e sem função estrutural frente às argamassas convencionais**. Orientador: Douglas Fukunaga Surco. 2012. Trabalho conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Tecnologia de execução de revestimentos de argamassas**. Florianópolis: UFSC/ANTAC, 1994.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Argamssas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. 1986. Boletim técnico (.) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.