

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARCOS PAULO LANÇANOVA MOREIRA

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ADERÊNCIA E FÍSICAS DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
CIMENTO PORTLAND POR ADIÇÕES MINERAIS**

**Alegrete-RS
2017**

MARCOS PAULO LANÇANOVA MOREIRA

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ADERÊNCIA E FÍSICAS DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
CIMENTO PORTLAND POR ADIÇÕES MINERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Ederli Marangon

Co-orientador: Simone Dornelles
Venquiaruto

**Alegrete-RS
2017**

MARCOS PAULO LANÇANOVA MOREIRA

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ADERÊNCIA E FÍSICAS DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
CIMENTO PORTLAND POR ADIÇÕES MINERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

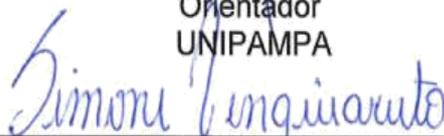
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 01 de dezembro de
2017

Banca examinadora:



Prof. Dr. Ederli Marangon

Orientador
UNIPAMPA



Prof. Msc. Simone Dornelles Venquiaruto

UNIPAMPA



Prof. Msc. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira

UNIPAMPA



Prof. Msc. Maurício Silveira dos Santos

UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meu pais, Paulo Moreira e Josevani Lançanova Moreira, minha irmã Bárbara L. Moreira, meus familiares e aos meus amigos de verdade, que me deram toda base, apoio e força para a conclusão deste tão sonhado diploma.

AGRADECIMENTO

Quero fazer um agradecimento em primeiro lugar a Deus, que sempre me guiou, fazendo com que eu faça sempre o correto e o melhor.

Aos meus pais e família que me deram toda a base, apoio, amor e força para eu chegar até aqui.

Aos meus amigos de infância e que conheci na faculdade, em especial ao meu amigo Afonso Brum, que esteve comigo desde o início, aos meus amigos e colegas Ismael Tonello, Felipe Klimaczwski, Lucas Lopes e Luis Cadore, que sempre estivemos juntos em todos os momentos da faculdade, projetos, provas e festividades.

A todos os professores da Engenharia Civil, que me ofereceram todo o conhecimento para me tornar engenheiro, em especial meu orientador Ederli Marangon e co-orientadora Simone Venquiaruto Dorneles, que propuseram toda a atenção possível para a realização deste trabalho. Ao professor Marcelo que me ajudou nos ensaios e com seu conhecimento no laboratório.

E por fim, a construtora SOTRIN, GRUPO PILLECO NOBRE SVA, Termelétrica Presidente Médice/Candiota e FIDA, que doaram os materiais para a realização deste trabalho.

“A persistência é o menor caminho do
êxito”.

Charles Chaplin.

RESUMO

A utilização de argamassa com cimento Portland no revestimento de alvenarias é uma técnica tradicional que vem se aprimorando e evoluindo cada vez mais, devido ao grande número de obras em execução no país. O desenvolvimento de projetos e técnicas vem sendo cada vez mais utilizado, com o intuito de se evitar futuras patologias e buscar uma maior vida útil destes revestimentos. Dessa forma, busca-se melhorar a eficiência e produtividade de argamassas de revestimento com o auxílio de substituições pozolânicas em massa de sílica da casca do arroz, cinza volante e metacaulim, já que diminuindo o consumo de cimento e utilizando materiais antes descartados pela sociedade, podem-se reduzir as emissões de gás carbônico na atmosfera. Dentro dos processos de execução, tem-se uma grande preocupação quanto à aderência da argamassa com a superfície a qual estará em contato. Para um melhor entendimento de alguns fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração entre a camada de revestimento de argamassa e a alvenaria, o presente trabalho apresenta os resultados de ensaios de aderência segundo ABNT NBR 13528:2010, feitos em paredes de alvenaria com blocos cerâmicos, com a utilização de chapisco. Para a realização desse trabalho, utilizou-se como referência um traço de argamassa de revestimento de 8 MPa de resistência à compressão. Os melhores resultados em termos de resistência de aderência à tração foram os traços de 5% de sílica da casca do arroz com 15% de cinza volante e 5% de sílica da casca de arroz com 10% de metacaulim.

Palavras-chave: Aderência, argamassa, NBR 13528/2010, sílica da casca de arroz, cinza volante, metacaulim.

ABSTRACT

The use of mortar with Portland cement in the masonry coating is a traditional technique that has been improving and evolving more and more due to the large number of works being executed in the country. The development of projects and techniques has been increasingly used in order to avoid future pathologies and seek a longer useful life of these coatings. In this way, it is sought to improve the efficiency and productivity of coating mortars with the help of bulk pozzolanic substitutions of rice husk, fly ash and metakaolin, since reducing cement consumption and using materials previously discarded by society, emissions of carbon dioxide into the atmosphere can be reduced. Within the execution processes, there is a great concern as to the adhesion of the mortar to the surface to which it will be in contact. For a better understanding of some factors that influence the tensile strength between the mortar coating layer and the masonry, the present work presents the results of adhesion tests according to ABNT NBR 13528: 2010, made in masonry walls with blocks with the use of slabs. For the accomplishment of this work, a trait of coating of 8 MPa of compressive strength was used as reference. The best results in terms of tensile strength were the traces of 5% silica from the rice husk with 15% fly ash and 5% silica from the rice husk with 10% metakaolin.

Key words: Adhesion, mortar, NBR 13528/2010, rice husk silica, fly ash, metacaulite

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Deterioração dos revestimentos argamassados	18
Figura 2 – Patologia, deslocamento da argamassa de revestimento	19
Figura 3 – Patologia, fissuras em argamassas de revestimento, devido a retração térmica	19
Figura 4 – Perfil típico de curva x deslocamento de um ensaio de Squeeze flow realizado com deslocamento controlado.	24
Figura 5 – Etapas dos ensaios de granulometria: a) quarteamento dos materiais; b) conjunto de peneiras utilizados; c) material sobre a peneira de maior abertura; d) frações retidas em cada peneira	30
Figura 6 – Determinação das massas específicas dos agregados miúdos (a) pesagem do material; (b) frasco com 200ml de água; (c) secagem das paredes internas do frasco; (d) imagem do frasco com a água deslocada	31
Figura 7 – Etapas de ensaio de massa específica dos materiais finos	32
Figura 8 – Misturador mecânico de 6 velocidades	34
Figura 9– Agregado miúdo sendo adicionado a cuba, com misturador em movimento	34
Figura 10 – Dimensões bloco de alvenaria estrutural	35
Figura 11 – Paredes elaboradas com blocos de alvenaria estrutural	35
Figura 12 – Paredes com chapisco, ((chapisco dosado em volume de:1 Cimento:3 areia média))	36
Figura 13 – (a) Aplicação da argamassa, (b) realização do corte e (c) aplicação da pastilha com cola na argamassa	37
Figura 14 – Dinamômetro mecânico de tração.....	37
Figura 15 – Amostra do corpo de prova ensaiado.....	37
Figura 16 – Tipos de ruptura no ensaio de resistência de aderência a tração	38
Figura 17 – Determinação das resistências mínimas de arrancamento para argamassas de revestimento	38
Figura 18 – Aspecto da parede revestida com o traço referência, na idade de 7 dias de cura	42
Figura 19 – Aspecto do revestimento após a realização do ensaio de arrancamento à tração para o traço de referência	43
Figura 20 – Percentual de ruptura à tração das argamassas do traço referência	44

Figura 21 – Traço 5% de Sílica da casca de arroz, apresentando fissuras de retração na idade de 7 dias de cura	45
Figura 22 – Aspecto do revestimento após a realização do ensaio de arrancamento à tração para o traço SCA5	46
Figura 23 – Percentual do tipo ruptura à tração das argamassas do traço SCA5 (5% de sílica da casca de arroz).....	47
Figura 24 – Argamassa com SCA5CV15 com textura uniforme e sem imperfeições	48
Figura 25 – Aspecto do revestimento após a realização do ensaio de arrancamento à tração para o traço de SCA5CV15	49
Figura 26 – Percentual do tipo de ruptura à tração das argamassas do traço SCA5CV15	50
Figura 27 – Argamassa com SCA5MC10, apresentando textura uniforme sem imperfeições, na idade de 7 dias de cura	51
Figura 28 – Aspecto do revestimento após a realização do ensaio de arrancamento à tração para o traço (SCA5MC10)	52
Figura 29 – Percentual de ruptura à tração das argamassas do traço referência	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nomenclatura dos traços com a porcentagem de substituição, baseados em Klimaczewski (2017)	28
Tabela 2 – Quantidade dos materiais para cada traço em gramas	28
Tabela 3– Massas específicas dos agregados.....	32
Tabela 4 – Massas específicas obtidas e calculadas para os materiais em pó	33
Tabela 5 – Índices físicos das argamassas inorgânicas investigadas.....	41
Tabela 6 – Resistências das argamassas inorgânicas correspondentes ao traço de referência	43
Tabela 7 – Resistências das argamassas inorgânicas correspondentes ao traço com 5% de sílica da casca de arroz.....	46
Tabela 8 – Resistências das argamassas inorgânicas, traço com 5% de sílica da casca de arroz com 15% de cinza volante	49
Tabela 9 – Determinação das resistências mínimas das argamassas inorgânicas, traço de 5% de sílica da casca de arroz com 10% de metacaulim.....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Squeeze Flow para os traços com substituição de Cimento Portland (Ref) por Sílica da Casca do Arroz (SCA).	26
Gráfico 2 – Squeeze Flow para os traços com substituição de Cimento Portland por 5% de SCA e com diferentes porcentagens de Cinza Volante.....	26
Gráfico 3 – Squeeze Flow para os traços com substituição Cimento Portland por 5% de SCA e com diferentes porcentagens de Metacaulim.....	27
Gráfico 4 – Squeeze Flow para os traços com maiores plasticidades para SCA e blendas de SCA com Cinza Volante ou Metacaulim.	27
Gráfico 5 – Curvas granulométricas dos agregados graúdos	30
Gráfico 6 – Curvas granulométricas dos aglomerantes.....	31
Gráfico 7– Média das tensões nos locais de rompimento de resistência de aderência à tração	44
Gráfico 8 – Média das tensões nos locais de rompimento de resistência de aderência a tração	47
Gráfico 9 – Média das tensões nos locais de ruptura de resistência de aderência à tração	50
Gráfico 10 – Média das tensões nos locais de rompimento de resistência de aderência a tração.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF – Areia Fina Calcária

AM – Areia Média

AG – Areia Grossa

Fi – Fíler Calcário

Cal – Cal Hidráulica

Cim – Cimento CP II – F 32

SCA – Sílica de Casca de Arroz

MC – Metacaulim

CV – Cinza volante

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivos Gerais.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Patologias em Argamassa de Revestimento.....	18
2.2 Argamassas com Adições Minerais no que tange a Resistência de Aderência e Índices Físicos.....	19
2.2.1 Propriedades e Efeitos da Sílica da Casca de Arroz como Adição em Argamassas.....	20
2.2.2 Propriedades e Efeitos da Cinza Volante como Adição em Argamassas.....	21
2.2.3 Propriedades e Efeitos do Metacaulim como Adição em Argamassas	22
2.3 Alguns Parâmetros Determinantes para o Ensaio de Resistência de Aderência à Tração em Revestimentos Argamassados.....	23
2.4 Definição dos traços para o estudo nesta literatura.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	28
Fonte: Elaboração Própria	28
3.1. Materiais	28
3.2 Caracterização dos Materiais	29
3.2.1 Ensaio de Composição Granulométrica dos Agregados Miúdos	29
3.2.2 Ensaio de Composição Granulométrica dos Materiais Finos	30
3.2.3 Determinação das Massas Específicas dos Agregados Miúdos	31
3.2.4 Determinação das Massas Específicas dos Materiais Finos	32
3.3 Mistura das Argamassas.....	33
3.4 Execução das Paredes para a Realização do Ensaio de Resistência de Aderência a Tração.....	34
3.5 Ensaio de Resistência de Aderência a Tração, ABNT NBR 13528/2013 ...	36
3.6 Determinação de Índices Físicos de acordo com a ABNT NBR 9778/2005	39
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.1 Resultados dos Índices Físicos das Argamassas Investigadas	41
4.2 Resultados de Aderência à Tração para a Mistura de Referência.....	42
4.3 Resultados de Aderência à Tração para Argamassa de Revestimento com 5% de Sílica de Casca de Arroz.....	45
4.4 Resultados de Aderência à Tração para Misturas Binárias com 5% de Sílica de Casca de Arroz e 15% de Cinza Volante	48

4.5 Resultados de Aderência à Tração para Misturas Binárias com 5% de Sílica de Casca de Arroz e 10% de Metacaulim	51
5 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O processo de produção do cimento Portland, além de ser um grande consumidor dos recursos naturais do planeta, é responsável por cerca de 5% a 8% das emissões mundiais de CO₂ na atmosfera (SCRIVENER, 2007). Além disso, muitos países têm buscado por tecnologias que garantam a diminuição das emissões de carbono, com o objetivo de não comprometer os recursos naturais das próximas gerações. Assim, uma das alternativas possíveis para a redução do consumo de cimento, e conseqüente diminuição das emissões de CO₂, envolve a substituição parcial do cimento Portland por pozolanas que têm apresentado viabilidade técnica e econômica.

No que tange as argamassas de revestimento produzidas com cimento Portland, diversas patologias são identificadas, em revestimentos internos e, de forma mais severa, em revestimentos externos. A principal delas está relacionada à aderência em decorrência do elevado grau de porosidade da argamassa que passa a ser responsável por um alto índice de destacamentos/desplacamentos das argamassas no seu contato com o substrato (COSTA; SILVA, 2001).

Com o intuito de melhorar as propriedades de aderência e as exigências do mercado, torna-se cada vez mais importante a busca por formas eficientes e sustentáveis de melhorar as propriedades das argamassas, tanto no estado reológico fresco, quanto o comportamento no estado endurecido. Ainda que os requisitos essenciais para a produção de argamassas seja os dados no estado endurecido, o estudo da argamassa no estado fresco é essencial, sendo que, é nessa condição que o material é utilizado, podendo ter o seu comportamento melhorado ao serem introduzidas adições minerais.

O uso de adições minerais como a sílica de casca de arroz, cinza volante e metacaulim, apresentam melhorias nas propriedades das argamassas, pelo fato de que as pozolanas modificam a microestrutura da pasta de cimento, principalmente na zona de transição entre a pasta e o agregado. Essas modificações melhoram a resistência mecânica, reduzem a permeabilidade e a porosidade já que apresentam dois efeitos na pasta cimentícia que é, o efeito pozolânico, (através da reação de hidróxido de cálcio, formando produtos resistentes de C-S-H) e efeito microfiller (preenchimento dos vazios existentes e interrupção da rede capilar).

Com isso, neste trabalho foi realizado um estudo das substituições parciais do cimento Portland por sílica da casca do arroz, cinza volante e metacaulim e foi analisada as melhores porcentagens dessas pozolanas para verificar o desempenho na aderência das argamassas, para minimizar e até mesmo extinguir os deslocamentos nas argamassas de revestimento, que é uma das principais patologias encontradas em obras.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Estudar as propriedades físicas e de aderência de argamassas de revestimento no estado endurecido com substituições parciais de cimento Portland por adições minerais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1 – Determinar os índices físicos, tais como, índice de vazios, porosidade e massa específica no estado endurecido;
- 2 – Analisar a resistência de aderência à tração das argamassas no estado endurecido, de acordo com a ABNT NBR-13528/2010;
- 3 – Avaliar a relação das argamassas nas propriedades físicas e mecânicas, quando realizado a substituição parcial de cimento Portland por sílica de casca de arroz, cinza volante e metacaulim.

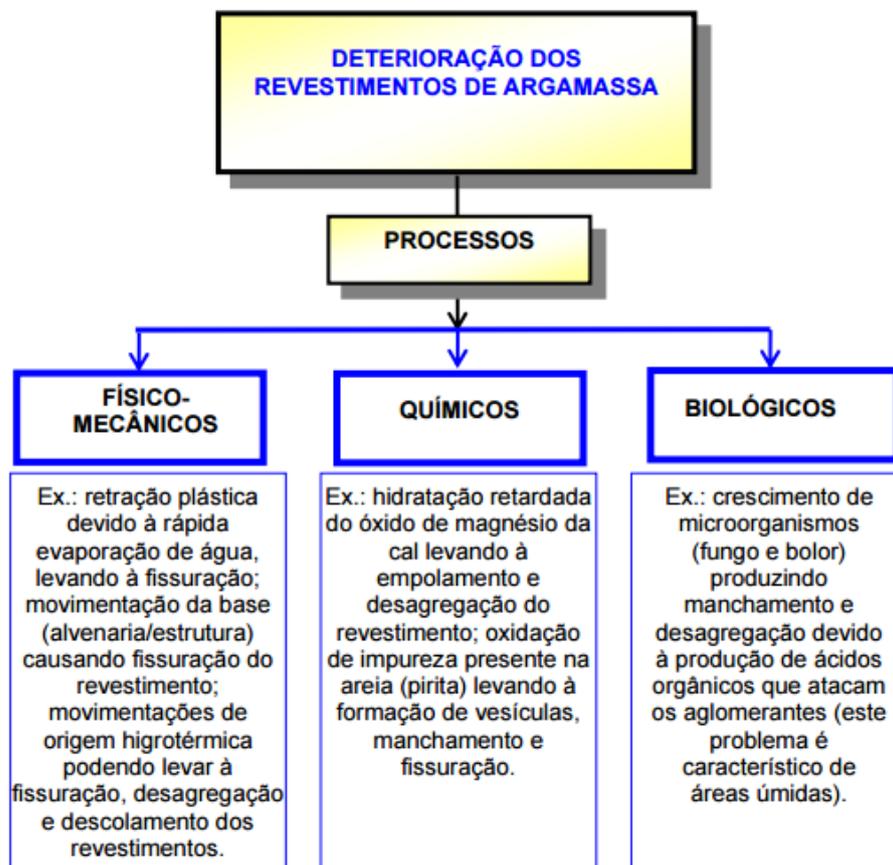
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Patologias em Argamassa de Revestimento

A degradação precoce dos revestimentos argamassados é decorrente de diferentes formas de ataque, as quais podem ser classificadas em físicas, mecânicas, químicas e biológicas. No entanto, essa diferença entre os processos é somente teórica, pois, na prática, os fenômenos normalmente se sobrepõem, sendo necessário considerar também as suas interações. Além disso, geralmente, os problemas nos revestimentos se manifestam através de efeitos físicos, tais como, desagregação, descolamento, fissuração, aumento da porosidade e permeabilidade (CARASEK, 2007).

A Figura 1 apresenta uma classificação dos processos de deterioração dos revestimentos de argamassa, apresentando exemplos de causas típicas associadas a eles.

Figura 1 – Deterioração dos revestimentos argamassados



Fonte: Carasek (2007, p.01)

Figura 2 – Patologia, deslocamento da argamassa de revestimento



Fonte: Gomes Júnior (2013?, não paginado)

Figura 3 – Patologia, fissuras em argamassas de revestimento, devido a retração térmica



Fonte: Maccaferri (2012?, não paginado)

2.2 Argamassas com Adições Minerais no que tange a Resistência de Aderência e Índices Físicos

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), argamassa é a mistura de aglomerantes, agregados e água e possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

A NBR 13281 (ABNT, 2001) fala que argamassa é a mistura homogênea de agregado (s) inorgânico (s) e água, contendo ou não aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalações próprias (argamassas industrializadas).

De acordo com Carasek (2007), as principais funções de um revestimento são:

- proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso de revestimentos externos;
- integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico, isolamento acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste;
- regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Na NBR 13749 (ABNT, 2005) consta que o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas.

2.2.1 Propriedades e Efeitos da Sílica da Casca de Arroz como Adição em Argamassas

A casca de arroz, quando queimada em temperatura controlada, deixa de ser um resíduo e passa a ser um material amorfo, denominado sílica da casca de arroz, com características pozolânicas. A técnica de combustão em leito fluidizado mostra-se eficaz, resultando em uma sílica da casca de arroz de alta qualidade e homogeneidade, o que possibilita sua utilização em dosagens de concretos e argamassas como adição ou na substituição parcial do cimento Portland (MARANGON, 2013).

A sílica da casca de arroz em presença de água, solubiliza em meio alcalino e reage, formando silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), o C-S-H formado nestas reações pozolânicas é similar ao C-S-H produzido nas reações de hidratação do cimento Portland e o hidróxido de cálcio formado durante a hidratação do cimento Portland é a principal fonte de cálcio para as reações pozolânicas (CORDEIRO *et al.*,

2009). A reação pozolânica tem como resultado a produção de fases químicas com maior estabilidade e poder aglomerante, sendo os principais responsáveis pela resistência das pastas de cimento hidratadas (CARMO; PORTELLA, 2008). Depois de certo tempo a sílica deixa de reagir quimicamente, de maneira significativa como aglomerante e passa a atuar fisicamente, por meio do efeito filler. As pozolanas atuam nos concretos e argamassas como material de preenchimento, melhorando o empacotamento do sistema (MENEZES *et al.*, 2009).

O emprego de materiais com alta reatividade (como é o caso da sílica ativa) envolve um consumo elevado de água devido à sua finura e pelo formato do grão ser lamelar, dessa forma, induz nas primeiras idades fissuras de retração por secagem, tendendo a reduzir a resistência de aderência. No entanto, este fato não inviabiliza o seu uso em argamassas, pois a quantidade de água pode ser reduzida a valores mínimos com a utilização de aditivos superplastificantes. Além disso, o uso de um material altamente reativo permitirá a formação nas primeiras idades do gel resistente de C-S-H, o qual propiciará o entrelaçamento mecânico da unidade e a argamassa, aumentando a resistência de aderência.

Kazmierczak (2009), afirma que a substituição de 5% sílica da casca de arroz em massa por cimento Portland, apresenta um efeito significativo sobre a propriedade de extensão de aderência, pois a mesma diminuiu os vazios na argamassa, fazendo com que a resistência à tração e a extensão de aderência aumentassem em relação as argamassas, estudadas, sem adições pozolânicas.

2.2.2 Propriedades e Efeitos da Cinza Volante como Adição em Argamassas

A cinza volante é um produto residual da queima do carvão mineral nas caldeiras das centrais termoelétricas, sendo formada, principalmente, por silicatos e aluminatos.

Considerando o concreto ou argamassas no estado fresco, as cinzas volantes possuem um papel muito importante, uma vez que ela melhora a coesão e a trabalhabilidade, diminuindo a exsudação e a segregação e aumentando o tempo de pega. Já no estado endurecido, a cinza volante contribui para a diminuição da temperatura devido às reações de hidratação que se apresentam inicialmente de

forma mais lenta (AZEVEDO, 2002), diminuindo a permeabilidade e aumentando a sua resistência (SCANDOLARA, 2010).

Porém, Souza (2015) observou que, dependendo da substituição de cinza volante por cimento Portland nas argamassas, isso poderá causar propriedades não desejáveis, ou seja, observou-se um aumento na porosidade e absorção, e uma diminuição da resistência a compressão e, conseqüentemente, na resistência de aderência, devido ao aumento no torque em relação ao tempo de cura da argamassa.

2.2.3 Propriedades e Efeitos do Metacaulim como Adição em Argamassas

O metacaulim é constituído normalmente de sílica (SiO) e alumina (Al₂O₃) na fase amorfa, capaz de reagir com o hidróxido de cálcio Ca(OH) gerado durante a hidratação do cimento Portland, formando produtos hidratados similares aos decorrentes da hidratação direta do clínquer.

O efeito pozolânico é o responsável direto pela resistência da pasta de cimento hidratado, porque reage com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento, formando o produto silicato de cálcio hidratado (C-S-H). O metacaulim tende a condicionar a reologia, trabalhabilidade, compacidade na melhoria da curva granulométrica, com maior retenção de água, coesão e, ainda, como ponto principal reduz o efeito de exsudação e segregação (NEVILLE, 1997).

Silva e Libório (2003) analisaram o efeito da adição de pozolanas na extensão de aderência substrato/argamassa. Verificaram que a alta relação água/cimento na região de interface provoca um elevado índice de vazios e com isso reduz a extensão de aderência, ao passo que a adição de pozolanas permitiu uma melhora significativa na redução dos vazios o que conseqüentemente se traduz em um aumento da extensão de aderência e de outras propriedades que decorrem desta.

A densidade de uma argamassa está relacionada com o índice de vazios desta. Com isso, Carazek (2013), observou que existe uma tendência de aumentar a densidade de massa aparente à medida que se aumenta o teor de metacaulim. Isso ocorre pelo aumento de teor de finos nas argamassas devido à adição do metacaulim. Por ser mais fino que os demais materiais, o metacaulim exerce a ação física de

preenchimento dos vazios da pasta e entre está e o agregado (efeito fíler), aumentado, assim, o grau de empacotamento das argamassas.

2.3 Alguns Parâmetros Determinantes para o Ensaio de Resistência de Aderência à Tração em Revestimentos Argamassados

O ensaio de resistência de aderência à tração, é um dos principais parâmetros para avaliação do desempenho de revestimentos de argamassa, é preconizado por diferentes normas, em âmbito internacional e nacional. Porém, a existência de parâmetros divergentes ou pouco especificados tem gerado alta variabilidade dos resultados para uma mesma situação de ensaio.

A aderência do revestimento ao substrato é uma das principais propriedades mecânicas para a verificação do desempenho dos sistemas de revestimento. Carasek (2009) reitera que, a geometria e dimensão dos corpos de prova, o procedimento de corte, o tipo de equipamento, as condições de exposição do revestimento, técnicas de execução, a taxa de carregamento e excentricidade do corpo de prova contribuem com a variabilidade dos resultados de aderência. Além disto, constatou-se uma relação direta entre a resistência de aderência à tração e a umidade do revestimento no momento de realização do ensaio.

2.4 Definição dos traços para o estudo nesta literatura

As argamassas foram executadas em um misturador planetário marca G.PANIZ, de acordo com as prescrições ABNT NBR 7215/1996. As misturas e os ensaios de controle foram executados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do curso de Engenharia Civil, da UNIPAMPA campus Alegrete/RS.

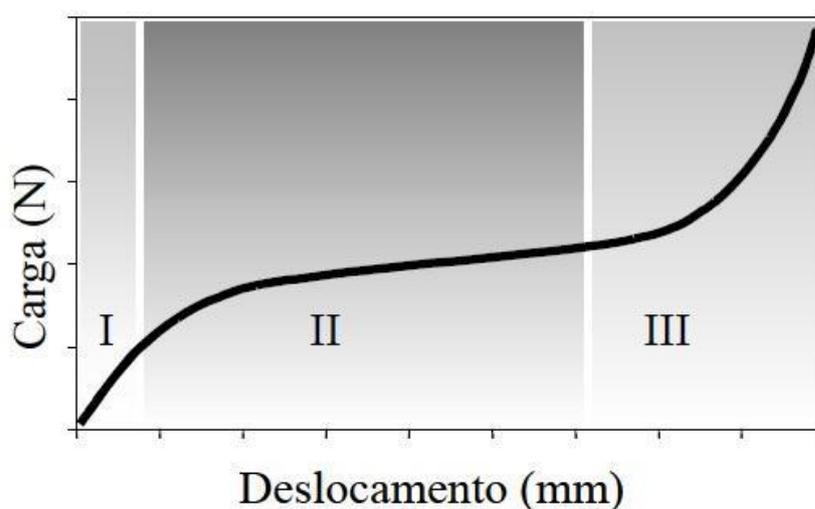
Para a execução das argamassas, preservou-se a relação de água por material cimentante (0,71). A constância desse fator foi importante para a análise dos dados. Caso a quantidade de água das misturas oscilasse, a análise dos resultados com relação a morfologia das partículas seria muito complexa, devido aos diferentes afastamentos entre os grãos dos materiais constituintes da argamassa.

Para a definição dos traços executados nesse trabalho, utilizou-se como referência a pesquisa de Klimaczewski (2017). Dentre as misturas investigadas pelo autor foram selecionados os 4 melhores traços de acordo com os ensaios de Squeeze

flow. O ensaio de Squeeze flow consiste na aplicação de uma força normal de compressão em um material considerado viscoso entre duas placas paralelas, fazendo com que o material flua radialmente (LAUN, 1999).

A ABNT NBR 15839/2010 normaliza o ensaio de squeeze flow para argamassas de assentamento e revestimento, e seus resultados expressos em um gráfico que contém 3 estágios definidos conforme o mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Perfil típico de curva x deslocamento de um ensaio de Squeeze flow realizado com deslocamento controlado.



Fonte: Cardoso, (2009, p. 24).

O estágio I do gráfico exibido na Figura 4 representa pequenos deslocamentos no qual o material comporta-se como um sólido que há apenas deformação elástica, apresentando uma região com relação linear entre a carga e o deslocamento que se refere à tensão de escoamento do material. Argamassas que necessitam de um deslocamento maior para entrar na fase plástica tendem a fissurar devido à recuperação elástica após a retirada do esforço (MATTANA, 2015). Entretanto as argamassas devem apresentar um estágio linear elástico de forma permitam uma devida adesividade no substrato.

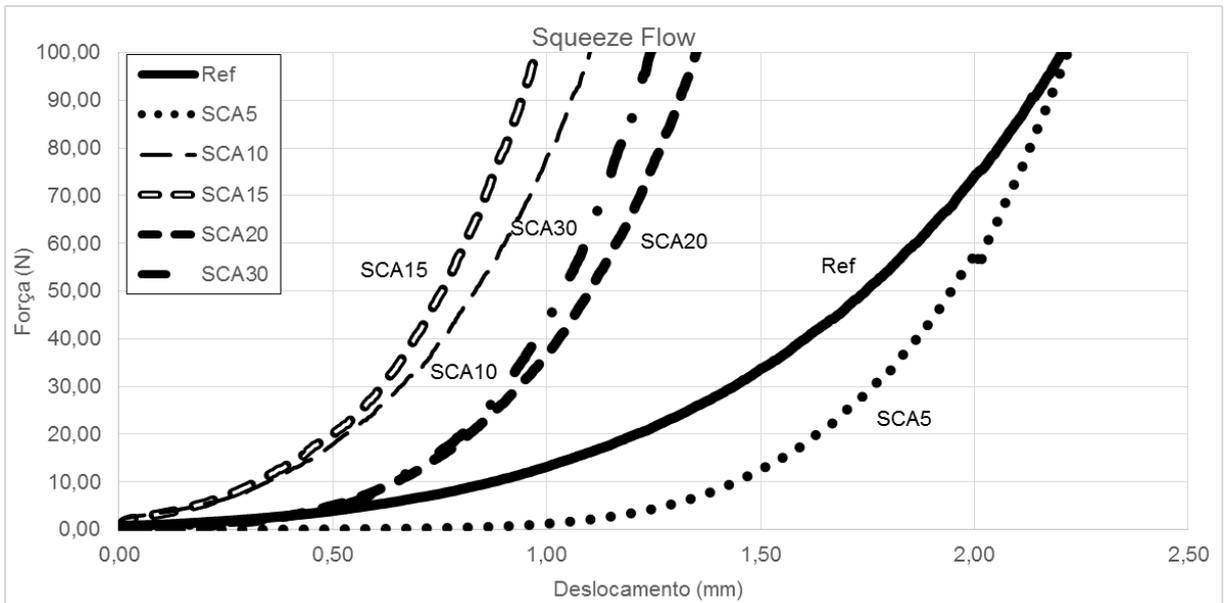
O segundo estágio inicia quando a força de compressão excede a tensão de escoamento a qual mantém o material com comportamento elástico, resultando em uma deformação radial elongacional e de cisalhamento (MATTANA, 2015). Para análise do comportamento da argamassa, esta é a região adequada, pois as deformações estão agindo sem acréscimo significativo da força de compressão, indicando facilidade de manuseio da argamassa.

Quando a argamassa está no estágio III, ocorre um aumento exponencial da carga de compressão necessária para prosseguir a deformação do material. A aproximação das partículas gera um embricamento dos componentes da argamassa, aumentando consideravelmente as forças de atrito entre os grãos, restringindo o deslocamento. Este estágio é conhecido como enrijecimento por deformação (strain hardening).

Squeeze-flow tem boa relação com a percepção do pedreiro, principalmente, nas etapas de lançamento e aperto. Argamassas de difícil deformação no squeeze-flow necessitam de maior esforço da mão-de-obra durante a aplicação, resultando em menor produtividade. O método deve também ser usado para avaliar a adesão da argamassa na ferramenta através da puxada após o ensaio comum de esmagamento, visto que este é um fator que dificulta a aplicação manual (Cardoso, 2009, p.114).

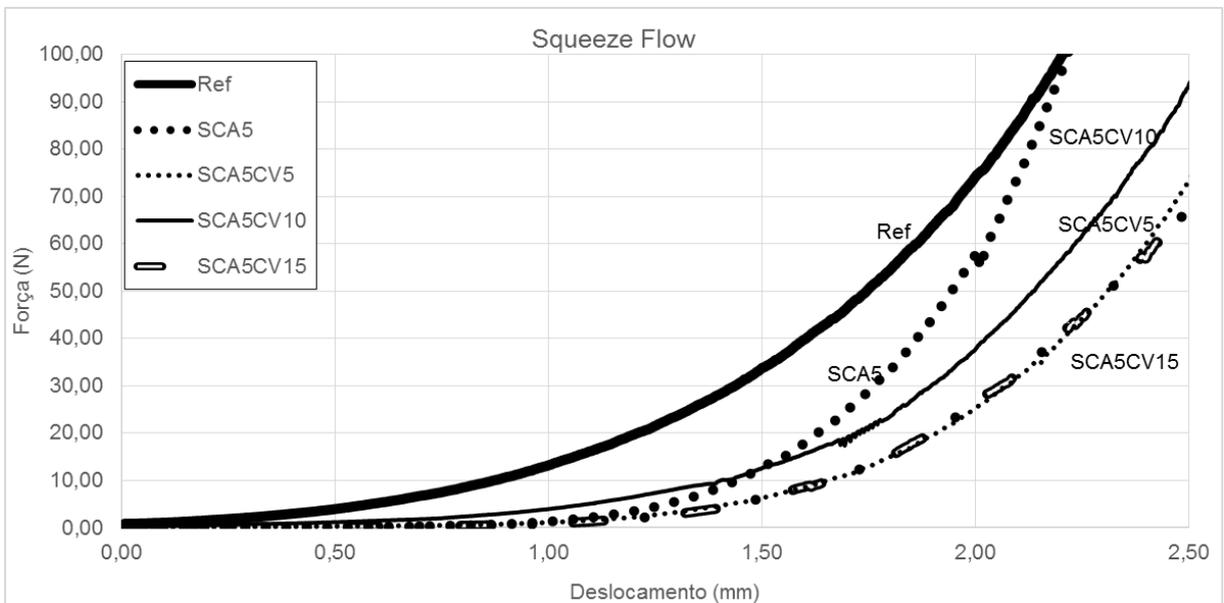
Assim, como forma de facilitar a avaliação dos resultados, os gráficos obtidos com esse ensaio foram separados por tipo de substituição (Gráfico 1, 2 e 3), sendo que os traços que possuem melhor comportamento reológico para cada material testado foram separados e mostrados em um único gráfico (Gráfico 4), de forma a comparar os perfis para as diferentes adições minerais.

Gráfico 1 – Squeeze Flow para os traços com substituição de Cimento Portland (Ref) por Sílica da Casca do Arroz (SCA).



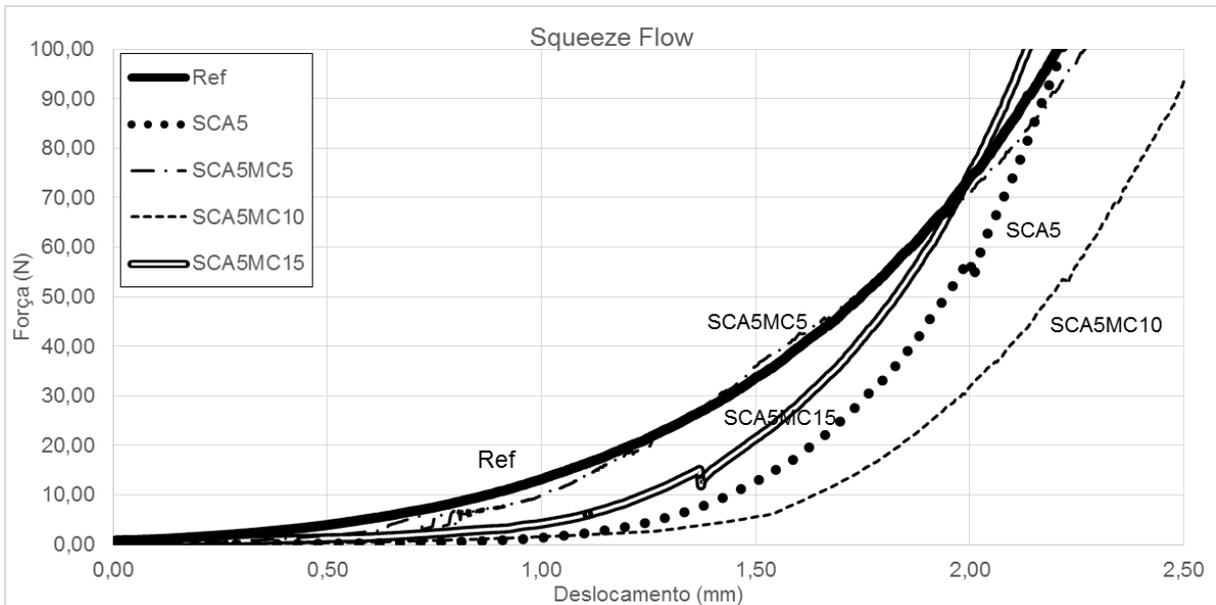
Fonte: Klimaczewski (2017, p.41)

Gráfico 2 – Squeeze Flow para os traços com substituição de Cimento Portland por 5% de SCA e com diferentes porcentagens de Cinza Volante.



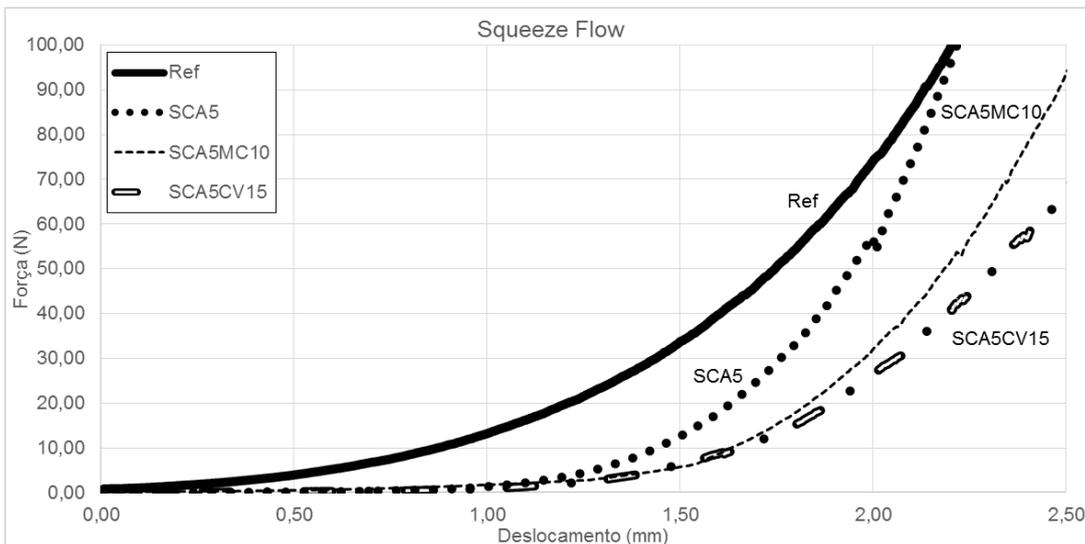
Fonte: Klimaczewski (2017, p.42)

Gráfico 3 – Squeeze Flow para os traços com substituição Cimento Portland por 5% de SCA e com diferentes porcentagens de Metacaulim.



Fonte: Klimaczewski (2017, p.42)

Gráfico 4 – Squeeze Flow para os traços com maiores plasticidades para SCA e blendas de SCA com Cinza Volante ou Metacaulim.



Fonte: Klimaczewski (2017, p.42)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os traços apresentados na Tabela 1 foram selecionados da pesquisa de Klimaczewski (2017) e apresentam resistência a compressão axial de aproximadamente 8 MPa. Como parâmetro de comparação das misturas binárias (substituições de cimento por sílica da casca de arroz – SCA5 e de cinza volante e metacaulim – SCA5CV15 e SCA5MC10) foi executado um traço referência, sem substituição pozzolânica (Traço Referência), já a Tabela 2, mostra as proporções de cada tipo de material (traço em massa).

Tabela 1 – Nomenclatura dos traços com a porcentagem de substituição, baseados em Klimaczewski (2017)

Traço	Cim (%)	SCA (%)	CV (%)	MC (%)
Ref	100	-	-	-
SCA5	95	5	-	-
SCA5CV15	80	5	15	-
SCA5MC10	85	5	-	10

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 2 – Quantidade dos materiais para cada traço em gramas

Traço	AG	AM	AF	Fi	Cal	Cim	SCA	CV	MC
Ref	120	190	340	110	120	120	-	-	-
SCA5	120	190	340	110	120	114	6	-	-
SCA5CV15	120	190	340	110	120	84	18	18	-
SCA5MC10	120	190	340	110	120	90	18	-	12

Fonte: Elaboração Própria

3.1. Materiais

Para a confecção das argamassas foram utilizados três tipos de areia industrial com granulometrias distintas (areia fina calcária (AF); areia média (AM) e areia grossa (AG)). Os agregados miúdos foram adquiridos da jazida Fida, localizada em Caçapava do Sul/RS.

Como material aglomerante foi utilizado cimento Portland CP II – F 32, fíller calcário (FI), cal hidrata (Cal), pozolanas sílica da casca de arroz (SCA), metacaulim (MC) foram doados pela empresa FIDA, localizada na região de Caçapava do Sul. Já a cinza volante (CV) foi doada pela Termelétrica Presidente Médice/Candiota

3.2 Caracterização dos Materiais

Os itens 3.2.1 a 3.2.4 apresentam a caracterização dos materiais utilizados para a confecção das argamassas.

3.2.1 Ensaio de Composição Granulométrica dos Agregados Miúdos

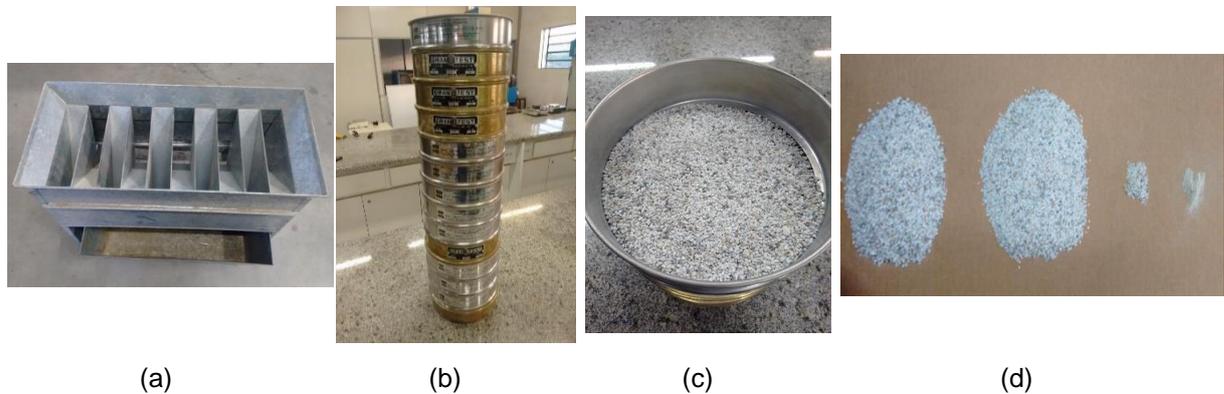
A composição granulométrica de uma amostra de material granular é essencial para estudar o empacotamento das misturas nas quais estes materiais serão empregados, e essa propriedade influencia diretamente nas propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

As composições granulométricas dos agregados miúdos foram obtidas conforme a ABNT NBR NM 248/03 com a utilização das peneiras da série normal, e da série intermediária

A Figura 5 apresenta as etapas executivas deste ensaio, onde a Figura 5(a) exhibe o equipamento para quartear os materiais (ANBT NBR NM 27/01), necessário para a obtenção de uma amostra representativa. A Figura 5 (b e c) mostra o conjunto de peneiras utilizado e o peneiramento da areia, respectivamente. Por fim, ainda na Figura 5 (d) ilustra uma imagem das frações típicas retidas em cada uma das peneiras.

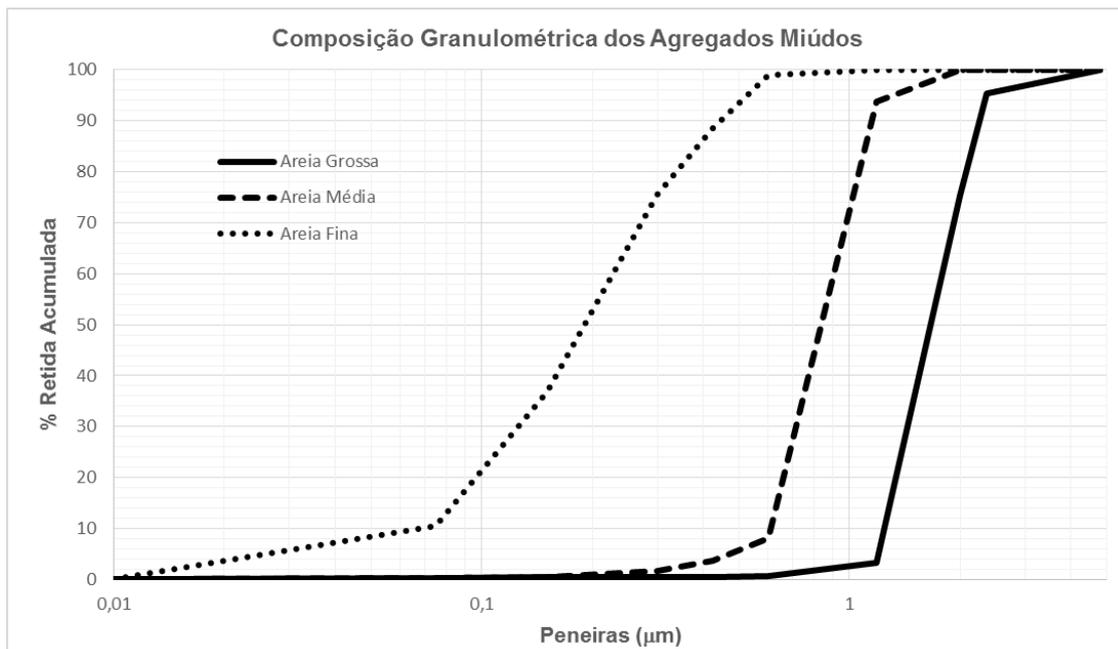
A composição granulométrica dos agregados ensaiados, bem como os limites normativos são apresentados no Gráfico 5.

Figura 5 – Etapas dos ensaios de granulometria: a) quarteamento dos materiais; b) conjunto de peneiras utilizados; c) material sobre a peneira de maior abertura; d) frações retidas em cada peneira



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 5 – Curvas granulométricas dos agregados graúdos

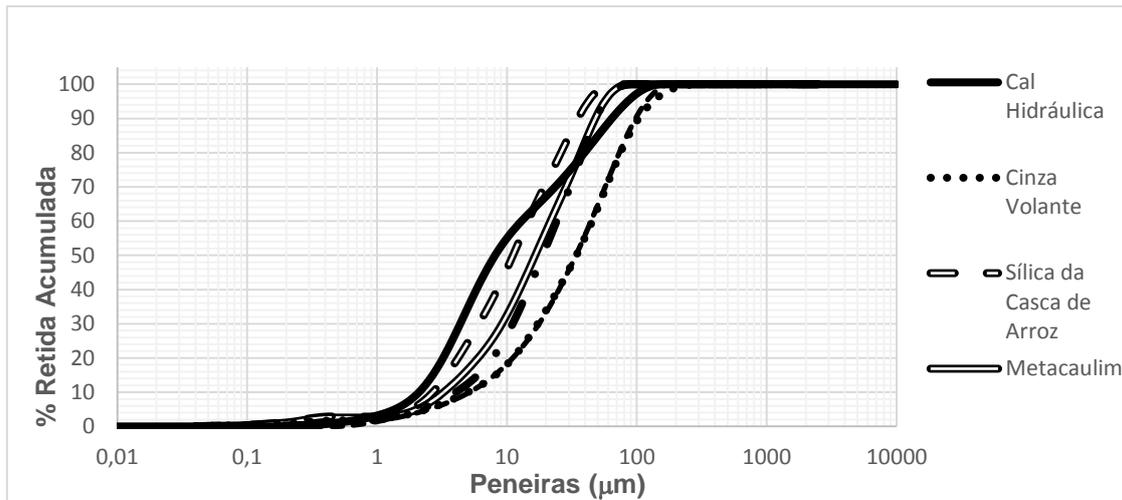


Fonte: Elaboração própria

3.2.2 Ensaio de Composição Granulométrica dos Materiais Finos

As granulometrias dos materiais finos como cimento, cal, fíller, sílica de casca de arroz, cinza volante e metacaulim, foram obtidas através da difração de raios laser, a qual foi realizada no laboratório da UNIPAMPA, campus Uruguaiiana. O Gráfico 6 apresenta os resultados obtidos.

Gráfico 6 – Curvas granulométricas dos aglomerantes



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 6 mostra que a cinza volante e o filler calcário apresentam granulometria menor que o cimento, já os demais materiais ensaiados apresentam granulometria maior que o cimento Portland CP2-F.

3.2.3 Determinação das Massas Específicas dos Agregados Miúdos

As massas específicas dos agregados miúdos (areias artificiais) foram determinadas através da ABNT NBR 9776/87. A Figura 6 ilustra os principais procedimentos realizados e a Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Figura 6 – Determinação da massa específica dos agregados miúdos (a) pesagem do material; (b) frasco com 200ml de água; (c) secagem das paredes internas do frasco; (d) imagem do frasco com a água deslocada



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3 – Massas específicas dos agregados

Material	Areia Grossa		Areia Média		Areia Fina	
li (cm ³)	200	200	200	200	200	200
lf (cm ³)	377,5	378,5	379,5	380	377	377
γ (g/cm ³)	2,80	2,81	2,78	2,78	2,83	2,82
γ média (g/cm ³)	2,80		2,78		2,82	

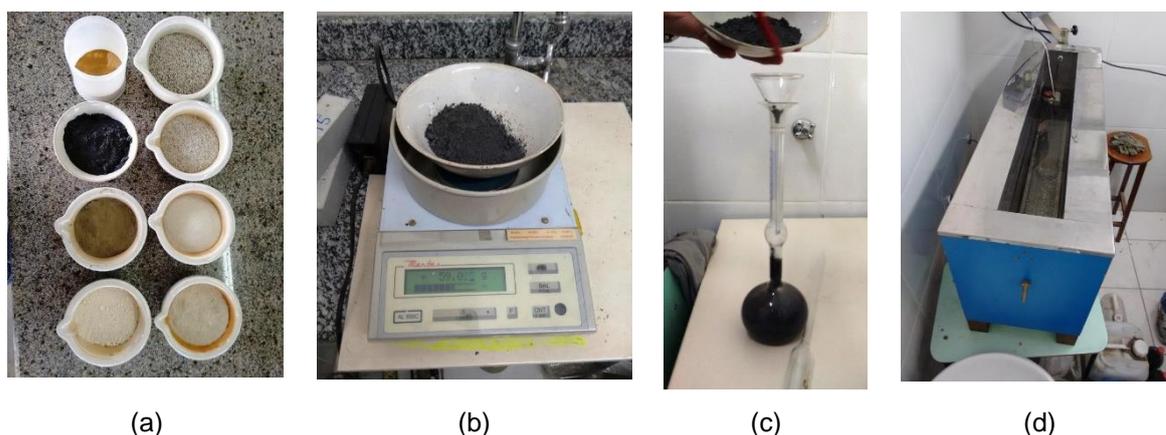
Fonte: Elaboração própria

3.2.4 Determinação das Massas Específicas dos Materiais Finos

Os ensaios para determinação da massa específica do cimento Portland CPII-F, cal hidráulica, fíller calcário, sílica da casca de arroz, cinza volante e do metacaulim, foram realizados conforme a ABNT NBR NM 23/00. A norma recomenda a utilização de um material que não reaja com os mesmos. Neste trabalho, foi utilizado o querosene como fluido inerte para o preenchimento dos vazios dos materiais.

As etapas do ensaio são mostradas na Figura 7, e consiste em separar os materiais (a), pesagem dos materiais (b), colocação dos pós no frasco (c), inserir o conjunto no tanque com temperatura controlada (d), e por fim realizar a leitura do volume de fluido deslocado após a estabilização da temperatura.

Figura 7 – Etapas de ensaio de massa específica dos materiais finos



Fonte: Elaboração Própria

Além disso, o item 8.1 da ABNT NBR NM 23/00 descreve que dois ensaios da mesma matéria, executados pelo mesmo operador, não devem apresentar divergência superior a 0,01 g/cm³. Dessa forma, aqueles materiais cuja divergência não for compatível, novos ensaios foram realizados até o atendimento desta

prescrição normativa. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos com o respectivo ensaio.

Tabela 4 – Massas específicas obtidas e calculadas para os materiais em pó

Material	Média das Massas Específicas (g/cm ³)
Cimento	2,97
Sílica (SCA)	2,09
Cal Hidráulica	2,53
Filler Calcário	2,87
Cinza Volante	1,98
Metacaulim	2,60

Fonte: Elaboração própria

3.3 Mistura das Argamassas

As argamassas foram executadas de acordo com o método proposto pela ABNT NBR 7215/1996. Para a mistura dos componentes foi utilizado um misturador mecânico planetário de 6 velocidades (Figura 8), com cuba de aço inoxidável e com capacidade aproximadamente de 10 litros, A balança utilizada para a pesagem dos materiais tem resolução de 0,1g.

Após a pesagem dos materiais, os mesmos foram inseridos na cuba. Primeiramente coloca-se a água e em seguida os materiais finos, aciona-se o misturador mecânico na velocidade 1 (um) e o cronômetro, simultaneamente. Depois de transcorrido 30 segundos as areias foram inseridas, sem parar o misturador, em seguida, quando o cronômetro marcar 1 (um) minuto, a velocidade foi alterada para a 3 (três). Com 1 (um) minuto e trinta (30) segundos o misturador é desligado e durante 15 (quinze) segundos é feita a raspagem do material aderido à borda interna da cuba e em seguida, a cuba é coberta por um pano úmido até completar 3 (três) minutos, o misturador foi novamente acionado, na velocidade 3 (três), até fechar os 4 (quatro) minutos de ensaio. A Figura 9 mostra os materiais não aglomerantes sendo adicionados a cuba.

Figura 8 – Misturador mecânico de 6 velocidades



Fonte: Elaboração própria

Figura 9 – Agregado miúdo sendo adicionado a cuba, com misturador em movimento



Fonte: Elaboração própria

3.4 Execução das Paredes para a Realização do Ensaio de Resistência de Aderência a Tração.

Foram construídas duas paredes com blocos de alvenaria estrutural (Figura 10 e Figura 11) com dimensões de 105 por 100 cm. Após a execução das paredes, as mesmas permaneceram em cura ambiente por aproximadamente 30 dias e após esse

período foi executada a etapa do chapisco (Figura 12). Finalizado esse período de cura, as paredes foram revestidas com argamassas distintas. A execução do revestimento foi realizada por um pedreiro, com o auxílio de uma concha, régua e prumo. Em todas as paredes foi mantida a espessura das argamassas em 20 mm, conforme as prescrições da norma ABNT NBR 13749/2013. Após a aplicação das argamassas, as paredes permaneceram expostas as intempéries por um período de 28 dias

Figura 10 – Dimensões bloco de alvenaria estrutural



Fonte: Elaboração própria

Figura 11 – Paredes elaboradas com blocos de alvenaria estrutural



Fonte: Elaboração própria

Figura 12 – Paredes com chapisco, ((chapisco dosado em volume de:1 Cimento:3 areia média))



Fonte: Elaboração própria

3.5 Ensaio de Resistência de Aderência a Tração, ABNT NBR 13528/2013

Os ensaios de resistência de aderência à tração foram realizados na idade de 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 13749/2013. Foram ensaiadas 12 amostras por traço de argamassa, conforme o item 4.2.1 da ABNT NBR 13528/2010.

Para a realização do corte das argamassas, foram utilizadas uma furadeira e uma broca serra-copo de 50 mm de diâmetro (Figura 13 - b), conforme o item 3.3 da norma ABNT NBR 15328/2013. Por conseguinte, foram cortados e limpas as áreas delimitadas para os ensaios. Posteriormente, foi aplicado uma cola (resina Epoxi) sobre os corpos de prova, para a fixação das pastilhas (item 3.5 da ABNT NBR 15328/2013). Fixadas as pastilhas, foi utilizado o dinamômetro mecânico de tração, para a realização dos ensaios de aderência à tração. As Figuras 13, 14 e 15 apresentam algumas das etapas do ensaio de aderência a tração, o equipamento utilizado (dinamômetro mecânico de tração) e os corpos-de-prova e o aspecto das paredes, após o término dos ensaios, respectivamente.

Figura 13 – (a) realização do corte e (b) aplicação da pastilha com cola na argamassa



(a)

(b)

Fonte: UDESC (2012, não paginado)

Figura 14 – Dinamômetro mecânico de tração



Fonte: Elaboração própria

Figura 15 – Amostra do corpo de prova ensaiado



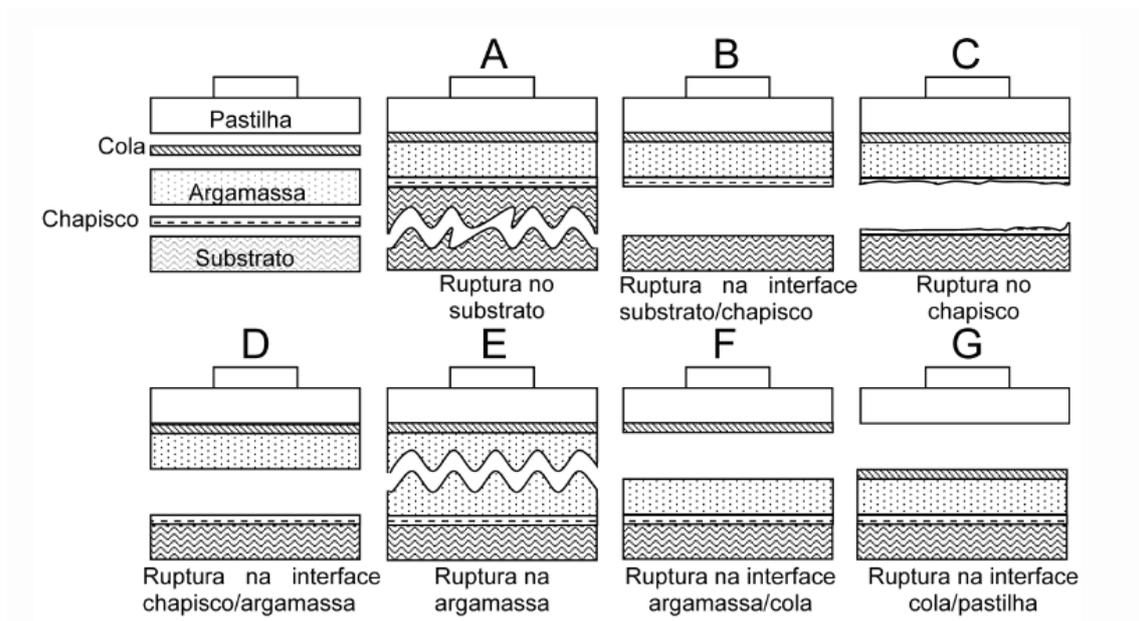
(a)

(b)

Fonte: Elaboração própria

Após a finalização dos ensaios foram analisadas a forma da ruptura e em que camada ou interface a mesma ocorreu. Essas informações são importantes porque identificam a camada ou interface de menor resistência do conjunto. A ABNT NBR 13528/2010 prescreve que as rupturas podem acontecer de diferentes formas, como mostrado na Figura 16. Cabe ressaltar que a ABNT NBR 13749/13 também estabelece que as amostras devem apresentar uma resistência mínima à tração, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 16 – Tipos de ruptura no ensaio de resistência de aderência a tração



Fonte: ABNT NBR 13528, (2010, p14)

Figura 17 – Determinação das resistências mínimas de arrancamento para argamassas de revestimento

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

Fonte: ABNT NBR 13749, (2013, p3)

3.6 Determinação de Índices Físicos de acordo com a ABNT NBR 9778/2005

Para a realização dos ensaios de determinação de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica, foram moldados dois corpos de prova (10x4x4cm) de cada argamassa estudada, conforme a ABNT NBR 7215/1996 e ABNT NBR 7680/2007.

A realização do cálculo para a determinação da absorção de água por imersão (A), de acordo com norma ABNT NBR-9778/2005, é dada pela equação 1, sendo M_{sat} a massa do corpo de prova saturado e M_s a massa do corpo de prova seco em estufa.

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \dots(1)$$

A realização do cálculo para a determinação dos índices de vazios (Iv), de acordo com norma ABNT NBR-9778/2005, é dada pela equação 2, sendo M_i a massa do corpo de prova saturado, imerso em água.

$$Iv = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad \dots(2)$$

A realização do cálculo para a determinação da massa específica da amostra seca (M_s), de acordo com norma ABNT NBR-9778/2005, é dada pela equação 3.

$$M_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad \dots(3)$$

A realização do cálculo para a determinação da massa específica da amostra saturada (M_{sat}), de acordo com norma ABNT NBR-9778/2005, é dada pela equação 4.

$$M_{sat} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} \quad \dots(4)$$

A realização do cálculo para a determinação da massa específica real (M_r), de acordo com norma ABNT NBR-9778/2005, é dada pela equação 5.

$$Mr = \frac{Ms}{Ms - Mi}$$

...(5)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O detalhamento dos resultados dos ensaios de índices físicos no estado endurecido e resistência de aderência à tração são apresentados nesse capítulo.

4.1 Resultados dos Índices Físicos das Argamassas Investigadas

A Tabela 5 apresenta os índices físicos das argamassas inorgânicas investigadas.

Tabela 5 – Índices físicos das argamassas inorgânicas investigadas

Traço/Propriedade	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica da amostra saturada (g/cm ³)	Massa específica da amostra real (g/cm ³)
Referência	13,75	26,65	1,94	2,21	2,64
SCA5	15,17	28,57	1,88	2,16	2,63
SCA5CV15	12,06	23,50	1,94	2,18	2,55
SCA5MC10	13,24	25,30	1,91	2,16	2,55

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 5 é possível observar que o traço SCA5 apresentou os resultados mais desfavoráveis em relação aos parâmetros analisados. Essa constatação causa uma certa estranheza, pois Menezes *et al.*, (2009) mostra que sílica da casca de arroz contribui para o preenchimento dos vazios da argamassa (efeito microfiller) fazendo com que a absorção e o índice de vazios diminuam. Apesar de alguns pesquisadores apontarem para os benefícios da sílica de casca de arroz na compacidade de argamassas, MARANGON *et al.* (2013) observaram em sua pesquisa que o índice de compacidade com o uso da Sílica da Casca do Arroz- Sílica Nobre, diminuiu, ou seja, prejudicou a estrutura granular. A conclusão dos pesquisadores pode justificar os resultados de absorção e índices de vazios obtidos nesse experimento, uma vez que a sílica estudada é de mesma procedência dos autores citados.

Entre as misturas investigadas, os traços SCA5CV15 e SCA5MC10, foram os que apresentaram os melhores desempenhos em relação aos índices físicos das argamassas no estado endurecido, isso mostra que tanto a combinação entre as pozolanas de sílica da casca de arroz com cinza volante e sílica da casca de arroz

com metacaulim, promovem um maior empacotamento das argamassas, diminuindo, os vazios da mistura. Essa suposição também foi confirmada em (MARANGON *et al.*, 2013).

Outra observação importante, é que as misturas SCA5CV15 e SCA5MC10 apresentaram as menores massas específicas, os resultados podem ser justificados possivelmente pelo fato dos materiais isolados apresentarem as menores massas específicas ou pela estrutura de poros da argamassa.

4.2 Resultados de Aderência à Tração para a Mistura de Referência

Na Figura 18 mostra um aspecto geral do revestimento feito com o traço de referência, que não possui substituição parcial de cimento Portland por adições minerais.

Figura 18 – Aspecto da parede revestida com o traço referência, na idade de 7 dias de cura



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 18 é possível observar que a argamassa de referência apresentou fissuras de retração nas primeiras idades. Acredita-se que este fato ocorreu em função do traço ter um consumo excessivo de aglomerante (resistência à compressão de aproximadamente 8 MPa) para argamassas de revestimento.

A Figura 19 mostra o aspecto do revestimento após a execução do ensaio de arrancamento. Cabe ressaltar que para determinar os locais de arrancamento foi evitado os locais onde continham fissuras.

Figura 19 – Aspecto do revestimento após a realização do ensaio de arrancamento à tração para o traço de referência



Fonte: Elaboração própria

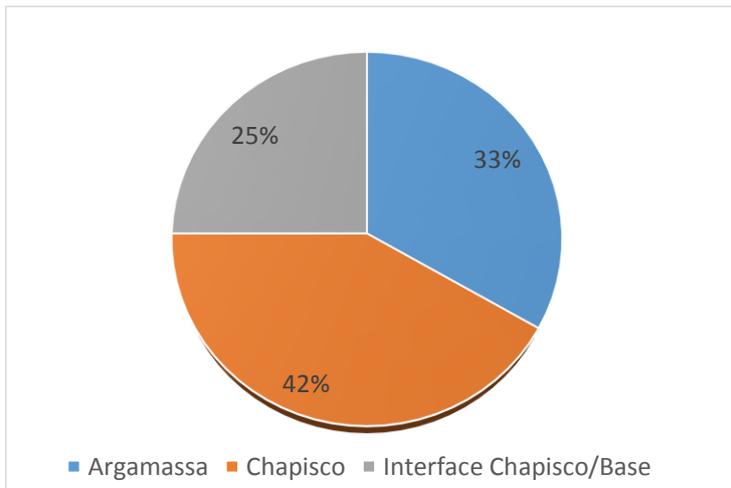
A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios de arrancamento da argamassa do traço de referência e a Figura 20 mostra os percentuais do tipo de ruptura à tração.

Tabela 6 – Resistências da argamassa correspondente ao traço de referência

Amostra	Tensão de aderência (MPa)	Tipo de Ruptura
CP1	0,22	Argamassa
CP2	0,18	Chapisco
CP3	0,17	Interface Chapisco/Base
CP4	0,18	Chapisco
CP5	0,16	Chapisco
CP6	0,14	Chapisco
CP7	0,30	Interface Chapisco/Base
CP8	0,28	Argamassa
CP9	0,23	Argamassa
CP10	0,13	Interface Chapisco/Base
CP11	0,20	Argamassa
CP12	0,18	Chapisco
Média (MPa)	0,18	
Desvio Padrão (MPa)	0,051	
Coeficiente de Variação (%)	28,60	

Fonte: Elaboração própria

Figura 20 – Percentual de ruptura à tração das argamassas do traço referência

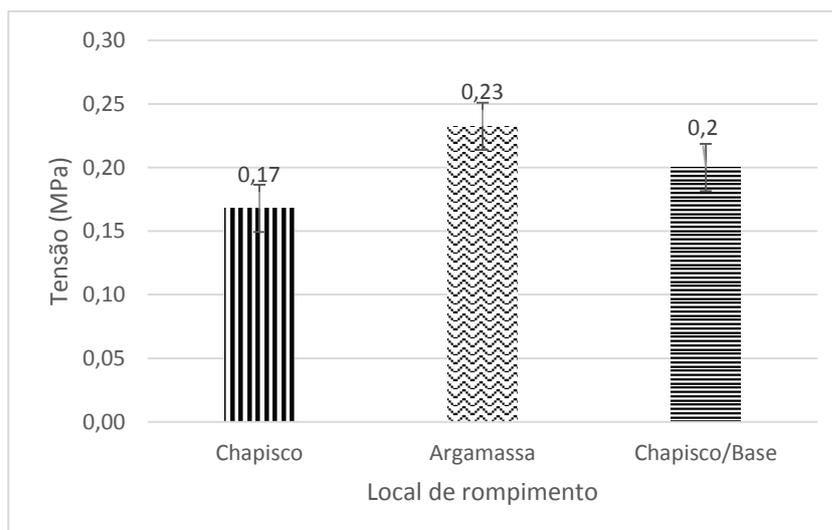


Fonte: Elaboração própria

A Figura 20, mostra que 42% das rupturas por arrancamento ocorreram no chapisco (predominante), 25% na interface chapisco/argamassa, 33% das rupturas, na argamassa. O elevado número das rupturas no chapisco possivelmente pode estar associado a má execução do mesmo.

O Gráfico 7 mostra a média das tensões em função dos tipos de ruptura para a argamassa de referência.

Gráfico 7– Média das tensões nos locais de rompimento de resistência de aderência à tração



Fonte: Elaboração própria

Percebe-se, analisando a Tabela 6 e o Gráfico 7 que as amostras (1, 8, 9 e 11) apresentaram ruptura na argamassa, com uma média de 0,23 MPa (Gráfico 7), maior que a exigida pela norma ABNT NBR 13749/2013 para revestimentos internos e tetos (0,20 MPa).

Nas amostras em que a ruptura ocorreu no chapisco, a média de resistência obtida foi de 0,17 MPa, inferior ao limite normativo (0,20 MPa – revestimentos internos e tetos). Nas rupturas Interface Chapisco/Base, as amostras obtiveram resistências iguais ao limite normativo (0,20 MPa).

4.3 Resultados de Aderência à Tração para Argamassa de Revestimento com 5% de Sílica de Casca de Arroz

A argamassa de revestimento com 5% de sílica de casca de arroz (SCA5), semelhantemente ao traço de referência, também apresentou fissuras de retração nas primeiras idades, conforme pode ser visto na Figura 21. Esses resultados podem estar associados à quantidade de cimento desse traço (Tabela 2), superior ao das demais misturas. Traços com elevados teores de cimento tendem a gerar elevado calor de hidratação nas primeiras idades, o que pode contribuir para o processo de microfissuração das argamassas por retração por secagem.

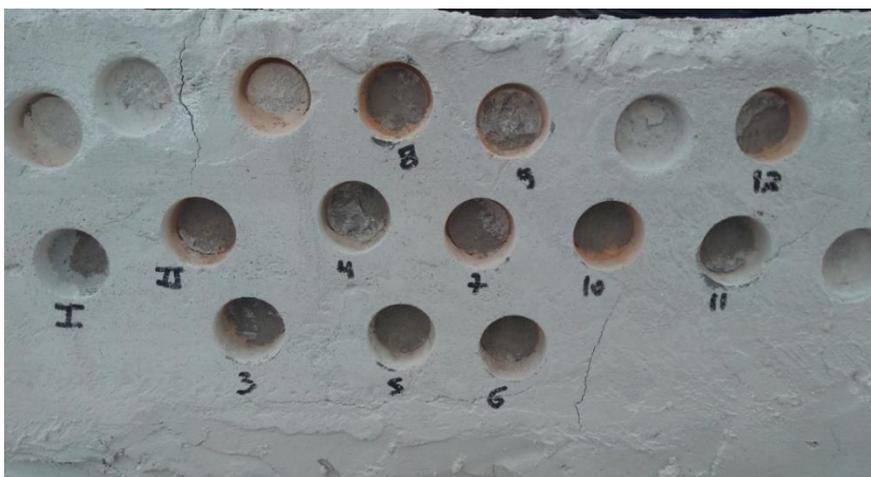
Figura 21 – Traço 5% de Sílica da casca de arroz, apresentando fissuras de retração na idade de 7 dias de cura



Fonte: Elaboração própria

A Figura 22 mostra o aspecto do revestimento após a execução do ensaio de arrancamento e a Tabela 7 exhibe os resultados obtidos nos ensaios de arrancamento do traço SCA5.

Figura 22 – Aspecto do revestimento após a realização do ensaio de arrancamento à tração para o traço SCA5



Fonte: Elaboração própria

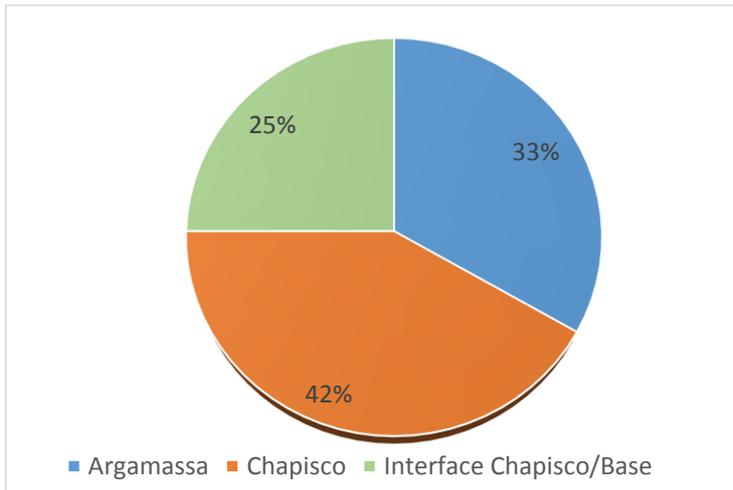
Tabela 7 – Resistências das argamassas inorgânicas correspondentes ao traço com 5% de sílica da casca de arroz

Amostra	Tensão de aderência (MPa)	Tipo de Ruptura
CP1	0,19	Argamassa
CP2	0,18	Chapisco
CP3	0,18	Interface Argamassa/Chapisco
CP4	0,16	Argamassa
CP5	0,15	Chapisco
CP6	0,19	Chapisco
CP7	0,16	Interface Argamassa/Chapisco
CP8	0,19	Chapisco
CP9	0,16	Argamassa
CP10	0,19	Argamassa
CP11	0,20	Chapisco
CP12	0,18	Interface Argamassa/Chapisco
Média (MPa)	0,182	
Desvio Padrão (MPa)	0,018	
Coefficiente de Variação (%)	9,6	

Fonte: Elaboração própria

A Figura 23 apresenta os percentuais de ruptura à tração referente à argamassa de revestimento SCA5 e o Gráfico 8 exibe as médias das tensões e os locais de ruptura.

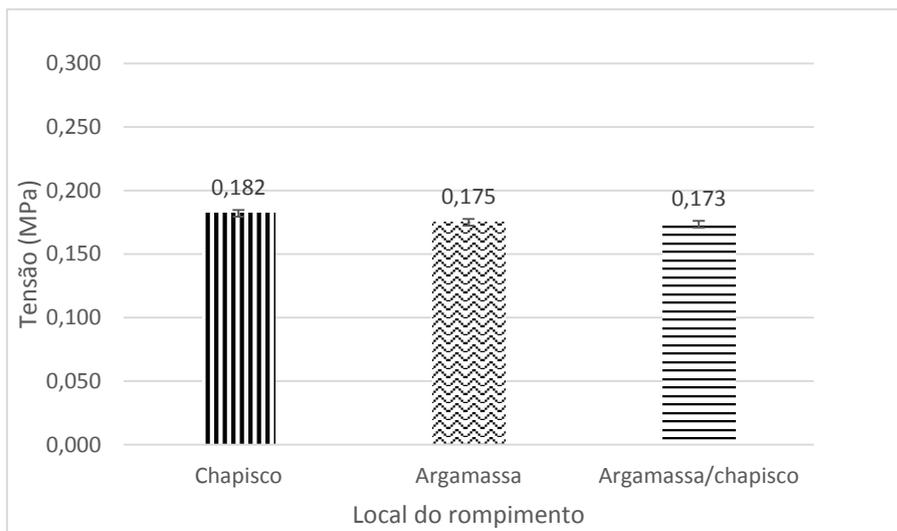
Figura 23 – Percentual do tipo ruptura à tração das argamassas do traço SCA5 (5% de sílica da casca de arroz)



Fonte: Elaboração própria

A Figura 23 mostra que a forma predominante de ruptura de 42% das amostras ensaiadas foi no chapisco, 33% na argamassa e 25% na interface chapisco/base.

Gráfico 8 – Média das tensões nos locais de rompimento de resistência de aderência a tração



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 8 mostra que todos os ensaios realizados na argamassa SCA5 apresentaram resultados de resistências à aderência à tração abaixo das exigidas de norma ($0,18\text{MPa} < 0,20\text{MPa}$).

4.4 Resultados de Aderência à Tração para Misturas Binárias com 5% de Sílica de Casca de Arroz e 15% de Cinza Volante

Conforme pode ser visto na Figura 24, o traço SCA5CV15 (5% de sílica de casca de arroz e 15% de cinza volante) apresentou textura uniforme e sem patologias.

Figura 24 – Argamassa com SCA5CV15 com textura uniforme e sem imperfeições



Fonte: Elaboração própria

Acredita-se que o fato da argamassa apresentar boas características pode estar associado à adição de pozolanas (sílica da casca de arroz e cinza volante) na argamassa. Segundo a literatura (Scandolaro, 2010), as cinzas volantes tem a capacidade de modificar a composição da pasta de cimento, influenciando na hidratação, diminuindo a permeabilidade e aumentando a sua resistência.

Outro fator a ser considerado é que a redução da quantidade de cimento do traço (Tabela 2), pela substituição por pozolanas, pode ter influenciado de maneira significativa na redução do calor de hidratação da argamassa, evitando a microfissuração durante o seu endurecimento.

A Figura 25 apresenta o aspecto do revestimento após a execução do ensaio de arrancamento.

Figura 25 – Aspecto do revestimento após a realização do ensaio de arrancamento à tração para o traço de SCA5CV15



Fonte: Elaboração própria

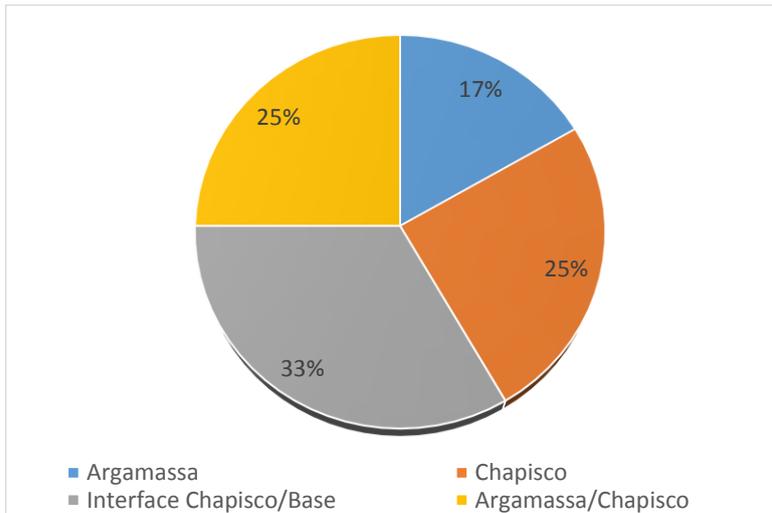
A Tabela 8 e a Figura 26 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de resistência de aderência à tração e os valores percentuais por tipo de ruptura, respectivamente.

Tabela 8 – Resistência da argamassa inorgânica, traço SCA5CV15 (5% de sílica da casca de arroz e 15% de cinza volante)

Corpo de Prova	Tensão (MPa)	Ruptura
CP1	0,19	Chapisco
CP2	0,21	Argamassa
CP3	0,19	Interface Chapisco/base
CP4	0,24	Argamassa
CP5	0,19	Interface Chapisco/base
CP6	0,20	Chapisco
CP7	0,18	Interface Chapisco/base
CP8	0,21	Interface Argamassa/chapisco
CP9	0,25	Interface Argamassa/Chapisco
CP10	0,20	Interface Chapisco/base
CP11	0,20	Argamassa
CP12	0,22	Interface Argamassa/Chapisco
Média (MPa)	0,201	
Desvio Padrão (MPa)	0,058	
Coeficiente de Variação (%)	28,75	

Fonte: Elaboração própria

Figura 26 – Percentual do tipo de ruptura à tração das argamassas do traço SCA5CV15

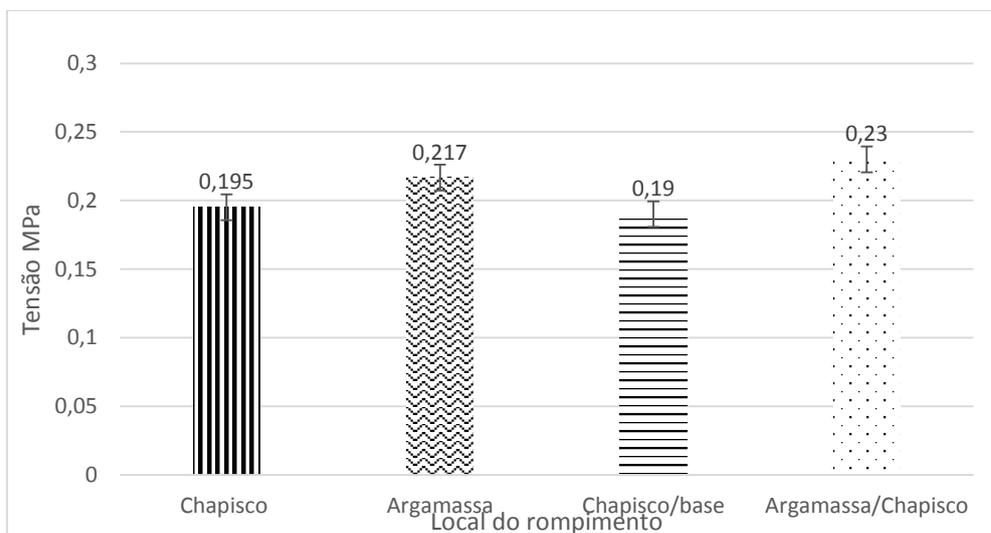


Fonte: Elaboração própria

A Figura 26 mostra que para o traço SCA5CV15 a forma predominante de ruptura ocorreu na interface chapisco/base (33%). Vinte e cinco por cento (25%) das rupturas ocorreu no chapisco, 25% na interface argamassa/chapisco e 17% na argamassa.

O Gráfico 9 apresenta as médias das tensões e os locais de ruptura do traço da argamassa SCA5CV15.

Gráfico 9 – Média das tensões nos locais de ruptura de resistência de aderência à tração



Fonte: Elaboração própria

Para o traço de SCA5CV15, os melhores resultados foram observados para as amostras onde a ruptura ocorreu na argamassa ou interface argamassa/chapisco (0,22MPa e 0,23 MPa, respectivamente). Nas demais amostras, onde a ruptura ocorreu no chapisco e na interface chapisco/base, os resultados foram abaixo da exigência de normativa (0,20 MPa). Novamente pode-se atribuir que o chapisco interferiu nos resultados de aderência.

4.5 Resultados de Aderência à Tração para Misturas Binárias com 5% de Sílica de Casca de Arroz e 10% de Metacaulim

A argamassa SCA5MC10 apresentou boas características (Figura 27), como textura uniforme e ausência de patologias (cavidades e fissuras).

Figura 27 – Argamassa com SCA5MC10, apresentando textura uniforme sem imperfeições, na idade de 7 dias de cura



Fonte: Elaboração própria

As Figuras 28 mostra o aspecto do revestimento após a execução do ensaio de arrancamento e a Tabela 9, apresenta os resultados obtidos.

Figura 28 – Aspecto do revestimento após a realização do ensaio de arrancamento à tração para o traço (SCA5MC10)



Fonte: Elaboração própria

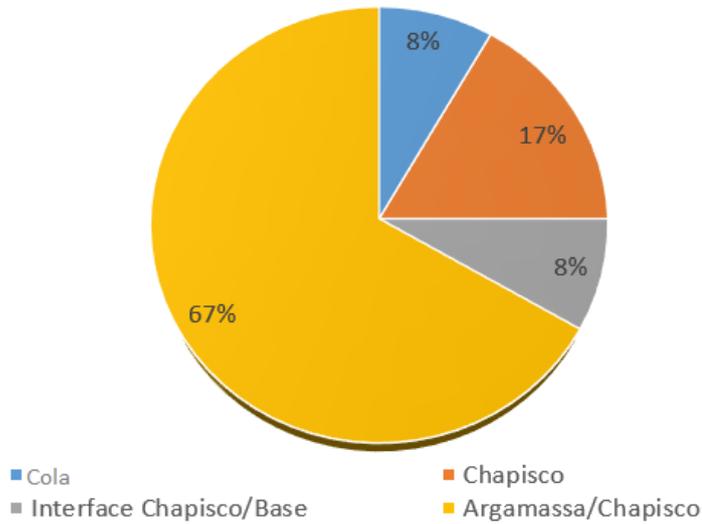
Tabela 9 – Determinação das resistências mínimas das argamassas inorgânicas, traço de 5% de sílica da casca de arroz com 10% de metacaulim

Corpo de Prova	Tensão (MPa)	Rompimento
CP1	0,20	Chapisco
CP2	0,24	Cola
CP3	0,25	Interface Chapisco/Base
CP4	0,20	Chapisco
CP5	0,20	Interface Argamassa/Chapisco
CP6	0,20	Interface Argamassa/Chapisco
CP7	0,22	Interface Argamassa/Chapisco
CP8	0,20	Interface Argamassa/Chapisco
CP9	0,22	Interface Argamassa/Chapisco
CP10	0,21	Interface Argamassa/Chapisco
CP11	0,25	Interface Argamassa/Chapisco
CP12	0,23	Interface Argamassa/Chapisco
Média (MPa)	0,217	
Desvio Padrão (MPa)	0,06	
Coefficiente de Variação (%)	29,85	

Fonte: Elaboração própria

Os percentuais de ruptura à tração referente ao traço SCA5CV10 são apresentados na Figura 29.

Figura 29 – Percentual de ruptura à tração das argamassas do traço referência



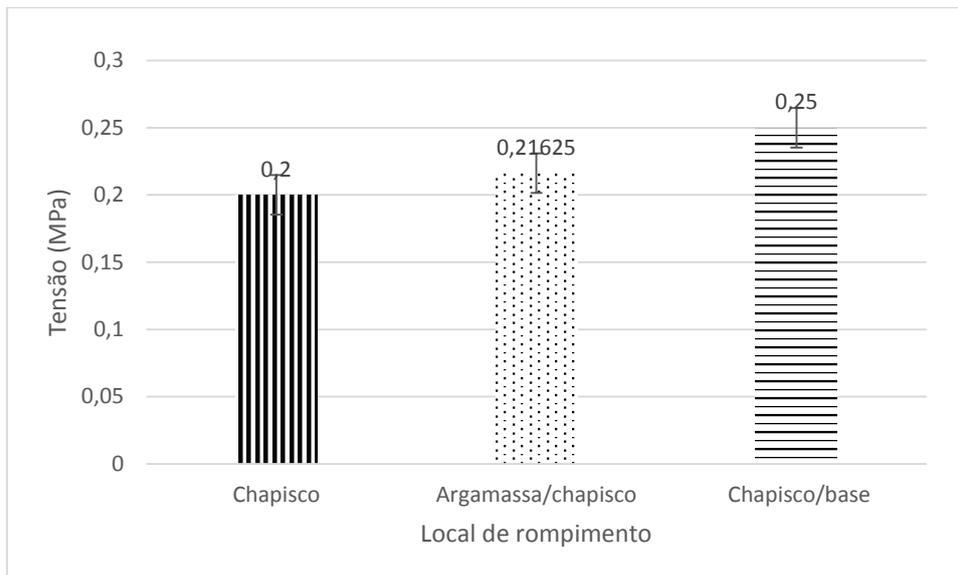
Fonte: Elaboração própria

A Figura 29 mostra que para o traço SCA5CV10 a forma predominante de ruptura ocorreu na interface chapisco/base (67%). Dezesete por cento (17%) das rupturas por arrancamento ocorreram no chapisco, 8% na cola e 8% no chapisco/base. Cabe ressaltar que o valor obtido no rompimento na cola foi excluído, por ser um resultado irrelevante para a pesquisa.

A forma predominante de ruptura na interface argamassa/chapisco, mostra que a resistência de tração da argamassa foi superior a resistência de aderência da argamassa no chapisco.

O Gráfico 10 apresenta as médias das tensões e os locais de ruptura do traço da argamassa SCA5CV10.

Gráfico 10 – Média das tensões nos locais de rompimento de resistência de aderência a tração



Fonte: Elaboração própria

A argamassa com SCA5MC10 apresentou bons resultados em relação a resistência de aderência à tração. Boa parcela das amostras apresentaram rompimento na interface argamassa/chapisco e atingiram resultados satisfatórios, acima de 0,21 MPa (Gráfico 10).

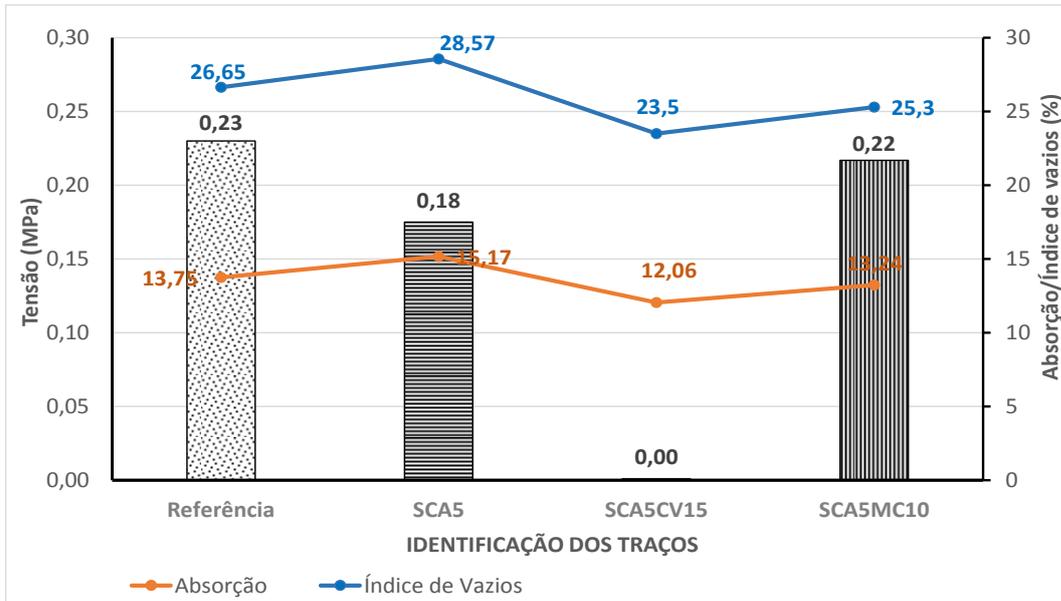
Os corpos de prova que apresentaram rompimento no chapisco também atingiram resultados aceitáveis, conforme a norma ABNT NBR 13749/2013.

Os resultados de desempenho obtidos podem ser atribuídos a blenda utilizada (metacaulim e sílica da casca de arroz), que promoveram uma diminuição dos índices de vazios, aumentaram a compacidade da mistura e contribuíram para a extensão de aderência argamassa/chapisco.

4.6 Relação entre as Propriedades Físicas e Mecânicas das Argamassas de Revestimento

Os Gráficos 11 e 12 apresentam os valores médios de resistência de aderência à tração nos locais onde foram possíveis estudar as argamassas, ou seja, ruptura na argamassa e interface argamassa/chapisco.

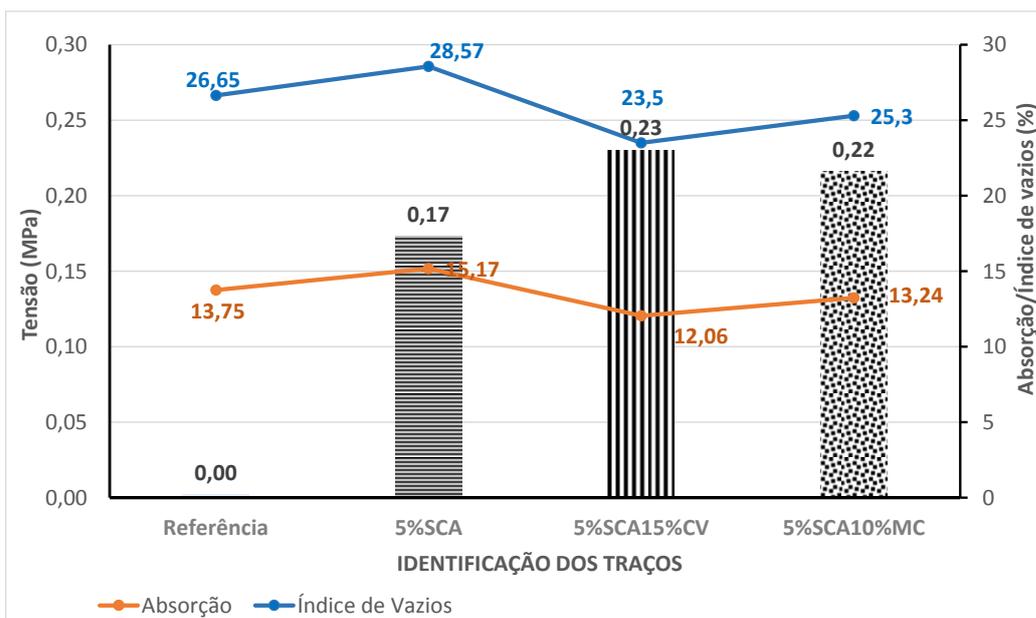
Gráfico 11 – Valores médios das tensões de arrancamento na argamassa



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 11, no traço com 5% de sílica da casca de arroz e 15% de metacaulim, mostrou o valor de 0,00, porque neste traço não houve ruptura na argamassa.

Gráfico 12 – Valores médios das tensões de arrancamento na interface argamassa/chapisco



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 12, no traço de referência, mostrou o valor de 0,00, porque neste traço não houve ruptura na interface argamassa/chapisco.

A partir dos gráficos apresentados, o traço com SCA5, foi o que obteve os valores mais desfavoráveis, tanto nos índices físicos (maior absorção e maior índice de vazios), como na resistência de aderência por tração (menor tensão no ensaio de arrancamento), ficando abaixo do traço de argamassa de referência em todos quesitos estudados.

Um dado importante a ser relatado, é que quando foi executada a aplicação da argamassa SCA5 a mesma apresentou baixa adesão inicial durante o processo de aplicação da argamassa ao chapisco, a mesma caía. A baixa adesão inicial pode ser um dos fatores que culminou para os baixos resultados obtidos.

O traço com SCA5CV15, foi o que obteve os melhores resultados tanto nos índices físicos (absorção e índice de vazios) como nos resultados de resistência de aderência à tração (para as argamassas rompidas na interface argamassa/chapisco). Cabe ressaltar que quando foi aplicado a argamassa na parede a mesma apresentou uma ótima trabalhabilidade e uma boa adesão inicial.

Como consequência de apresentar bons resultados nos índices físicos, a resistência tanto a tração na argamassa como na aderência da mesma, obtiveram resultados satisfatórios, apresentando uma média de 0,217 e 0,23 MPa, respectivamente.

O traço de SCA5MC10, apresentou bons resultados tanto nos índices físicos da argamassa no estado endurecido (absorção e índice de vazios) como nos valores de resistência de aderência à tração. A blenda de pozolanas sílica da casca de arroz e metacaulim, preencheram de forma satisfatória os vazios, melhoraram a curva granulométrica da mistura e condicionaram reologia a mistura, fazendo com que os resultados de resistência de aderência por tração obtivessem valores acima dos mínimos normativos (0,216 MPa).

5 CONCLUSÕES

No presente estudo o objetivo foi avaliar a influência das adições minerais de sílica da casca de arroz, cinza volante, metacaulim e blendas em substituição parcial de cimento Portland em relação aos índices físicos da argamassa de revestimento no estado endurecido e também em relação a resistência de aderência à tração. Assim, foram possíveis alcançar as seguintes conclusões.

No que tange os índices físicos, pode-se concluir que o uso de SCA aumentou a porosidade e conseqüentemente a absorção de água. Para as outras misturas, constituídas de blendas de sílica da casca de arroz, cinza volante e metacaulim, os valores obtidos foram menores que o traço de referência. Os valores de 15% para absorção são condizentes com índices físicos de argamassas segundo Miranda, 2011.

De um modo geral, de acordo com os resultados de resistência de aderência à tração, observou-se que o chapisco foi um dos fatores que interferiu nos resultados, devido há alguns aspectos tais como: aplicação manual (desuniforme) e a espessura da camada. Nos traços referência e SCA5, a camada de chapisco foi um pouco mais espessa que nos traços de SCA5CV15 e SCA5MC10, porque nestes traços foram feitas raspagens para deixar o chapisco mais uniforme.

Ainda, nos traços contendo blendas de sílica da casca de arroz, cinza volante e metacaulim, o revestimento apresentou menor fissuração, melhor acabamento e conseqüente melhor aspecto visual. Nas blendas a maioria dos resultados apresentaram-se maiores que o valor estabelecido por norma para revestimentos internos e tetos.

Ainda, pode-se afirmar que o uso de misturas binárias para argamassas de revestimento é vantajoso por apresentar características de materiais que não seriam mais utilizados como a sílica da casca de arroz, que é provida da queima controlada da casca de arroz, que normalmente seria jogada fora, ou como a cinza volante que é um produto residual da queima do carvão mineral, que normalmente também não seria aproveitada, acarretando na geração de resíduos inutilizáveis.

Com isso, este estudo comprova que esses materiais apresentam boas características e resultados satisfatórios para a fabricação de argamassas, pois tanto para as blendas de sílica da casca de arroz, cinza volante e metacaulim, satisfazem

os parâmetros normativos da ABNT NBR 13528/2010, além de demonstrarem um bom aspecto visual no que tange a fissuração.

Sugestões para trabalhos futuros

Fazer os ensaios da ABNT NBR-13528/2010 e ABNT NBR—9778/2005, de todos os traços estudados por (Klimaczewski, 2017).

Realizar os ensaios da ABNT NBR-13528/2010, sem a utilização de chapisco, direto no substrato (Tijolo/bloco), ou utilizando uma máquina de projeção para o chapisco.

Realizar determinação de absorção de água, pelo método de CSTC, *Centre Scientifique et Technique de La Construction*.

Realizar os ensaios da ABNT NBR-13528/2010, com uma argamassa padrão e utilizando substituições ou adições parciais de cimento Portland, por estas pozolanas, no chapisco e estudar a influência do chapisco no sistema (Base, Chapisco e argamassa).

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 13749-2013**
Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânica. Rio de Janeiro, 2013.

— . **NBR 7175**-Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

— . **NBR 13281**-Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2005.

— . **NBR NM 248**: Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

— . **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

— . **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

— . **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

— . **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 9778**: Argamassa e concreto endurecidos -Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

— . **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1996.

— . **NBR 7200**- Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânica. Rio de Janeiro, 1988.

— . **NBR 13528**-Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Determinação da Resistência de Aderência à Tração. Rio de Janeiro, 2010.

AZEVEDO, A.F.F.L.C. **Betões de elevado desempenho com incorporações de Cinzas Volantes**, 2002. 487f. (Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil-Escola de Engenharia), Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2002.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON, São Paulo, 2007.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ilustração. 2007. IBRACON, São Paulo, 2007. 01p.

CARDOSO, Fernando Alonso. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese de Doutorado, 2009. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2009.

COSTA e SILVA, A. J. **Descolamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. 2001. 255 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, USP, São Paulo, 2001.

CARMO, J. B. M.; Portella, K. F. Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto. **Cerâmica**, v. 54, p.309-318, 2008.

CORDEIRO, G. C.; Toledo Filho, R. D.; Fairbairn, E. M. R. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. **Química Nova**, v.32, p.82-86, 2009

CUNHA F.M. REGES. Amostra do corpo de prova ensaiado. Ilustração. 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/125/artigo286430-1.aspx>>. Acesso em maio, 2017.

SOUZA, R. C. *et al.* Estudo da influência da adição de cinza volante e resíduo da construção civil nas propriedades da argamassa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 11, 2015, Campinas, **Anais...** Unicamp, São Paulo, 2015.

GOMES JUNIOR, M. V. Patologia, deslocamento da argamassa de revestimento. Ilustração. 2013?. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgid8AJ/analise-estado-conservacao-uff?part=3>>. Acesso em maio, 2017.

GONÇALVES, SRC, **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos de argamassa- estudo de caso.** p.148 . Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

KAZMIERCZAK, Claudio de Souza et al. Influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento. **Estudos Tecnológicos.** v.5. p.157-170, 2009.

KLIMACZWESKY, Felipe Augusto. **Avaliação da reologia no estado fresco de argamassas com substituição de cimento Portland por cinza volante, sílica da casca do arroz e metacaulim.** 2017.49 f. Trabalho de conclusão de curso, UNIPAMPA, Alegrete, 2017.

MACCAFERRI. Patologia, fissuras em argamassas de revestimento, devido a retração térmica. Ilustração. 2012? Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=36&Cod=287>>. Acesso em maio, 2017.

MARANGON, Ederli *et al.* **Índice de Atividade Pozolânica da Sílica de Casca de Arroz Silcca Nobre SCI Proveniente da Combustão em Leito Fluidizado** [S.I.]. Relatório, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil, 2013.

MATTANA, Alécio Junior *et al.* Avaliação da Plasticidade de Pastas de Cal Hidratada pelo Ensaio Squeeze Flow. **11º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA)** Porto Alegre, Brasil, 2015.

MENEZES, R. R.; Neves, G. A.; Souza, J.; Melo, W. A.; Ferreira, H. S.; Ferreira, H. C. Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.795-801, 2009.

MIRANDA, P. S. J. **Avaliação da absorção de água por imersão e da permeabilidade em argamassa reciclada**. 2011, 69f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Feira de Santana. Feira de Santana, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2º ed. São Paulo. PINI, 1997.

SCRIVENER, K.I. KIRKPATRICK, Innovation in use and research on cementitious material. In: th International Congress of Chemistry of Cement, 12, 2007, Montreal, **Anais...**, Canadá, 2007.

SCANDOLARA, J. P. **Propriedades de argamassas obtidas pela substituição parcial de cimento Portland por rejeitos particulados de tijolo**. –Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas –CCT, Joinville, 2010.

SILVA, V. S. & LIBORIO, J. B. L. Avaliação do efeito da sílica extraída da casca do arroz na aderência de argamassas e chapiscos. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de argamassas, SBTA, 2003, São Paulo, **Anais...**, |São Paulo, 2003.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA (UDESC). (a) Aplicação da argamassa, (b) realização do corte e (c) aplicação da pastilha com cola na argamassa. Ilustração. 2012. Disponível em: <<http://www.cct.udesc.br/?id=1815>>. Acesso em maio, 2017.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA (UDESC). - Realização do arrancamento do ensaio de resistência de aderência por tração. Ilustração. 2012. Disponível em: <<http://www.cct.udesc.br/?id=1815>>. Acesso em maio, 2017.