

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS PATO BRANCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC**

**MARCOS ANTONIO BROCARDO JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL NO  
CONTROLE DE FISSURAS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2021**

**MARCOS ANTONIO BROCARDO JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL NO  
CONTROLE DE FISSURAS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

**Evaluation of the use of residual rice husk ash in the control of shrinkage  
cracks in coating mortars**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil - Área de concentração: Materiais e Engenharia de Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho

**PATO BRANCO**

**2021**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Pato Branco



MARCOS ANTONIO BROCARDI JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL NO CONTROLE DE FISSURAS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Materiais E Engenharia De Estruturas.

Data de aprovação: 30 de Agosto de 2021

Prof Jose Ilo Pereira Filho, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Caroline Angulski Da Luz, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Eduardo Roberto Batiston, Doutorado - Universidade Comunitária da Região de Chapecó (Unochapecó)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 30/08/2021.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda a sabedoria e equilíbrio que me concedestes, para cursar o mestrado até o fim, mesmo com todas as adversidades.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho, pela grandiosa contribuição, apoio, presteza, conhecimento e paciência dos quais sempre irei me recordar com admiração.

À minha banca examinadora, Prof. Dra. Caroline Angulski da Luz e Prof. Dr. Eduardo Roberto Batiston, pelas valorosas contribuições e apontamentos técnicos.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, por todo o conhecimento transmitido.

À técnica do laboratório de materiais Cláudia Baldin, pelos inúmeros auxílios prestados e aos colegas do programa, pelo apoio e troca de experiências.

À Central de Análises e ao Laboratório de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Pato Branco, pelo auxílio nos ensaios de MEV.

À minha família e amigos, por sempre acreditarem em mim e estarem próximos. Sem cada um de vocês nada disso seria possível.

Obrigado a todos os que, direta ou indiretamente, colaboraram para o desenvolvimento desse trabalho!

*Não pare até se orgulhar.*

## RESUMO

As fachadas de revestimento de argamassa são frequentemente objeto de trincas e fissuras no decorrer de sua vida útil, comprometendo seu desempenho. Por outro lado, o aproveitamento de subprodutos industriais por parte da indústria da construção civil é viável para aplicação em produtos à base de cimento, de forma a melhorar suas propriedades. Embora existam trabalhos que abordam o uso da cinza de casca de arroz (CCA) e seu impacto nas propriedades do estado endurecido das argamassas, há a necessidade de desenvolvimento de estudos que explorem especificamente a retração em amostras com adições minerais residuais. A partir disso, esse trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade de utilização de CCA residual e moída como substituto parcial do cimento Portland em argamassas de revestimento e a mitigação na retração decorrente de ciclos de variação de temperatura e umidade. Nesta análise, as argamassas possuem traço 1:2:9, contendo cimento, cal hidratada e areia natural fina, sendo avaliadas amostras contendo teores de 15% de CCA com e sem moagem em substituição ao cimento. São avaliados os impactos no índice de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado, índice de vazios, absorção de água, permeabilidade, análise de microestrutura por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura, resistência mecânica, retração restringida e em ensaio acelerado de ciclos de variação de umidade e temperatura. Uma análise dos testes conclui que as amostras de CCA, especialmente a residual apresentam-se como soluções adequadas para o uso nas argamassas de revestimento, tendo em vista seu desempenho superior nos ensaios de retração, sem deixar de atender os requisitos mínimos de abatimento e resistência previstos em norma. Os resultados levam a observar que há viabilidade no uso da cinza residual em substituição parcial ao cimento, tanto sob a ótica da sustentabilidade e do reaproveitamento de resíduos, como pelo incremento nas propriedades da argamassa no estado endurecido.

**Palavras-chave:** cinza de casca de arroz; argamassa de revestimento; retração.

## ABSTRACT

Facades made of mortar coatings are often the subject of cracks throughout their life cycle, compromising their performance. On the other hand, the use of industrial by-products by the construction industry is viable for application in cement-based products, in order to improve their properties. Even though some studies have addressed the use of rice husk ash (RHA) and its impact on the hardened properties of mortars, there is a need to develop a study that specifically explores shrinkage in mixtures containing residual mineral additives. This work aims to analyze the feasibility of using residual and ground RHA as a partial substitute for Portland cement in coating mortars, as a way of mitigating the retraction originated from temperature and humidity variation cycles. In this analysis, mortars have a 1:2:9 mix design, containing cement, hydrated lime and fine natural sand, with samples containing 15% RHA contents as a replacement for the cement. Impacts on the consistency index, mass density, incorporated air content, voids index, water absorption, permeability, microstructure analysis using Scanning Electron Microscopy, mechanical resistance, restricted shrinkage and in an accelerated test of cycles of humidity and temperature variation were evaluated. An analysis of the tests concludes that RHA samples, especially without grinding, are a suitable solution for use in coating mortars, in view of their superior performance in shrinkage tests, while meeting the minimum slump and strength requirements required by Brazilian standards. The results show that it is recommended to use residual ash as a partial replacement for cement, both from the perspective of sustainability and the reuse of residue, as well as the increase in the properties of the mortar in its hardened state.

**Keywords:** rice husk ash; coating mortar; shrinkage.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos do sistema de vedação de alvenaria estrutural antes da execução do revestimento. ....	21
Figura 2 – Fatores que influenciam o desempenho dos revestimentos de argamassa, durante o processo construtivo de edificações. ....	23
Figura 3 – Fissuras extrínsecas atuantes nos revestimentos de argamassa. ....	25
Figura 4 – Fissuras decorrentes de retração por secagem em fachada. ....	28
Figura 5 – Fatores causadores de fissuras em alvenarias. ....	29
Figura 6 – Direção das precipitações: (a) sem vento (b) com vento. ....	30
Figura 7 – Incidência de fissuras em alvenaria causadas por variações de temperatura. ....	31
Figura 8 – Impacto na retração por secagem de concretos compostos pelo binário dolomita-cinza. ....	34
Figura 9 – Faixas ótimas de uso de CCA para diferentes propriedades. ....	35
Figura 10 – Abertura de fissuras em concretos com cinza em diferentes finuras. ...	35
Figura 11 – Jarro e bolas esféricas. ....	41
Figura 12 – Difratoograma de Raios-X – Cinza Residual. ....	41
Figura 13 – Difratoograma de Raios-X – Cinza moída. ....	42
Figura 14 – Painéis de argamassa com cachimbo fixado. ....	47
Figura 15 – Amostras imersas em solução de acetona. ....	48
Figura 16 – Molde utilizado para avaliação da retração restringida. ....	49
Figura 17 – Estrutura de ensaio utilizada para avaliação da retração restringida. ...	50
Figura 18 – Retificação de imagens para obtenção de medidas. ....	51
Figura 19 – Parte de image referenciada a) Original; b) Classificada. ....	51
Figura 20 – Histograma de frequências. ....	51
Figura 21 – Obtenção do comprimento da fissura. ....	52
Figura 22 – Placas cimentícias. ....	53
Figura 23 – Placas com cordões de argamassa. ....	54
Figura 24 – Condições ambientais e suscetibilidade à perda de água por evaporação. ....	55
Figura 25 – Índice de consistência das amostras (a) Ref; (b) CCA <sub>R</sub> ; (c) CCA <sub>M</sub> . ....	57
Figura 26 – Índice de vazios das amostras em estudo. ....	60



Figura 27 – Resultados de absorção de água por imersão das amostras em estudo. .....	61
Figura 28 – Permeabilidade de água para as amostras ensaiadas. ....	61
Figura 29 – Vazios e fissuras presentes na amostra referência.....	62
Figura 30 – Vazios presentes na amostra de cinza residual.....	63
Figura 31 – Vazios e fissuras presentes na amostra de cinza moída. ....	64
Figura 32 – Gráfico de evolução de resistência para a amostra referência. ....	66
Figura 33 – Gráfico de evolução de resistência para a amostra de cinza residual. .	66
Figura 34 – Gráfico de evolução de resistência para a amostra de cinza moída. ....	67
Figura 35 – Equipamento de ensaio de retração restringida.....	68
Figura 36 – Moldes utilizados para o ensaio.....	68
Figura 37 – Retração restringida nas argamassas referência (a). ....	71
Figura 38 – Retração restringida nas argamassas referência (b). ....	71
Figura 39 – Retração restringida nas argamassas referência (c).....	71
Figura 40 – Retração restringida nas argamassas com cinza residual (a).....	72
Figura 41 – Retração restringida nas argamassas com cinza residual (b).....	72
Figura 42 – Retração restringida nas argamassas com cinza residual (c).....	72
Figura 43 – Retração restringida nas argamassas com cinza moída (a). ....	73
Figura 44 – Retração restringida nas argamassas com cinza moída (b). ....	73
Figura 45 – Retração restringida nas argamassas com cinza moída (c).....	73
Figura 46 – Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas referência (a).....	74
Figura 47 – Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas referência (b).....	74
Figura 48 – Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas com cinza residual (a). .....	75
Figura 49 – Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas com cinza residual (b). .....	75
Figura 50 – Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas com cinza residual (c). .....	75
Figura 51 – Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas com cinza moída (a). .....	76
Figura 52 – Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas com cinza moída (b). .....	76
Figura 53 – Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas com cinza moída (c). .....	76

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Vida útil de projeto (VUP) dos sistemas. ....	21
Tabela 2 – Espessuras recomendadas para revestimentos.....	22
Tabela 3 – Classificação de aberturas. ....	26
Tabela 4 – Retração de barras de argamassas com cinza volante em diferentes finuras. ....	36
Tabela 5 – Composição química e requisito – CP II-F-32 Maxifort. ....	38
Tabela 6 – Ensaio e requisitos – CP-II-F-32 Maxifort. ....	38
Tabela 7 – Características da cal hidratada. ....	39
Tabela 8 – Composição química da CCA. ....	39
Tabela 9 – Requisitos químicos de materiais pozolânicos. ....	40
Tabela 10 – Atributos físicos da CCA.....	40
Tabela 11 – Caracterização física da areia. ....	42
Tabela 12 – Ensaio no estado fresco. ....	43
Tabela 13 – Identificação das amostras e percentual de substituição (em massa). ....	44
Tabela 14 – Ensaio no estado endurecido. ....	45
Tabela 15 – Equações do índice de vazios, absorção por imersão. ....	46
Tabela 16 – Abatimento das argamassas. ....	56
Tabela 17 – Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	58
Tabela 18 – Densidade de massa no estado fresco – Classes e requisitos. ....	58
Tabela 19 – Retenção de água. ....	59
Tabela 20 – Retenção de água – Classes e requisitos. ....	59
Tabela 21 – Ensaio de resistência à compressão. ....	65
Tabela 22 – Ensaio de resistência à tração.....	65
Tabela 23 – Informações métricas do ensaio de retração restringida.....	69
Tabela 24 – Extensão de fissuras após o ensaio de ciclos.....	77
Tabela 25 – Impacto do uso das cinzas residual e moída em argamassas de revestimento.....	79

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Relação água/cimento
a/mc	Relação água/materiais cimentícios
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Concreto de alto desempenho
CCA	Cinza de casca de arroz
CCA <sub>R</sub>	Amostras contendo cinza de casca de arroz residual (não-moída)
CCA <sub>M</sub>	Amostras contendo cinza de casca de arroz moída por 2 horas
CSTC	Centre Scientifique et Technique de la Construction
CP	Cimento Portland
MPa	Megapascal
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira
RHA	Rice husk ash
SVVIE	Sistemas de vedações verticais internos e externos
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UR	Umidade relativa
VUP	Vida útil de projeto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVO GERAL.....	19
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1	VEDAÇÕES VERTICAIS.....	21
2.2	REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA.....	22
2.3	FISSURAS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO.....	26
2.4	POSIÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	29
2.5	USO DE ADIÇÕES – CINZA DE CASCA DE ARROZ.....	31
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	37
3.2	MÉTODOS.....	43
3.2.1	Ensaio no estado fresco.....	43
3.2.1.1	Determinação do traço e abatimento.....	44
3.2.1.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	44
3.2.1.3	Retenção de água.....	45
3.2.2	Ensaio no estado endurecido.....	46
3.2.2.1	Índice de vazios e absorção de água.....	46
3.2.2.2	Permeabilidade.....	46
3.2.2.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	47
3.2.2.4	Resistência à tração na flexão e à compressão.....	48
3.2.2.5	Retração restringida.....	49
3.2.2.6	Ensaio de ciclos de temperatura e umidade.....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
4.1	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO.....	56
4.1.1	Determinação do traço e abatimento.....	56
4.1.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	57
4.1.3	Retenção de água.....	59
4.2	ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO.....	60

4.2.1	Índice de vazios e absorção de água .....	60
4.2.2	Permeabilidade .....	61
4.2.3	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....	62
4.2.4	Resistência à tração na flexão e à compressão .....	64
4.2.5	Retração restringida .....	67
4.2.6	Ensaio de ciclos de temperatura e umidade.....	74
4.3	ANÁLISE GLOBAL DOS ENSAIOS .....	78
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As fachadas das edificações são frequentemente alvo de manifestações patológicas. Geralmente estas são compostas por estrutura de concreto armado, fechamento com blocos de vedação cerâmicos e revestidas com argamassa.

A deterioração dos revestimentos de argamassa é originada de processos físicos, químicos e biológicos. Dentre esses fenômenos, a retração apresenta-se como uma patologia importante, decorrente de um processo físico-mecânico, manifestando-se através de trincas e fissuras no revestimento, comprometendo a estanqueidade do sistema.

A variação higrotérmica é a ação conjunta da dilatação e da retração em um sistema, provocado pela absorção de água e pela variação de temperatura local. A retração resultante tende a surgir quando o sistema (revestimento) é de grandes dimensões, causado pela perda de água excessiva.

As fissuras decorrentes das movimentações térmicas no revestimento têm aspecto regularmente distribuído e com aberturas reduzidas, características semelhantes às fissuras provocadas pela retração por secagem.

A retração plástica é ocasionada pela redução do volume da argamassa devido à perda de água, quando esta se encontra ainda em estado fresco. Por outro lado, a retração por secagem ocorre de forma similar, diferindo pelo fato de acontecer no estado endurecido.

O surgimento de trincas e fissuras pode ser indício de um estado crítico para o sistema. Além disso, prejudica o desempenho deste, frente à ação da água, ao isolamento termoacústico, à durabilidade. Além disso, a fissuração causa um desconforto psicológico para seus usuários.

Ao buscar obter edificações mais eficientes, houve significativos avanços em relação à evolução de normas, disposições e regulamentações relacionadas ao comportamento das edificações em âmbito nacional. Como principal exemplo, a NBR

15575 (ABNT, 2013c) aborda o desempenho no contexto das edificações habitacionais.

A Norma de Desempenho em seu conjunto dá grande ênfase à habitabilidade destas construções, não somente na fase construtiva, mas durante toda sua vida útil. Dessa forma, todos os participantes, englobando projetistas, fornecedores, empreiteiros e clientes, possuem uma parcela de responsabilidade pelo atendimento ou não da norma.

Sendo assim, para alcançar os requisitos previstos na normativa, as pesquisas que envolvem a seleção de materiais e métodos construtivos eficientes são fundamentais, buscando aperfeiçoar o desempenho dos sistemas, neste caso específico, as vedações verticais externas.

Buscando o emprego de materiais mais sustentáveis para a construção civil, em conjunto com a valorização de materiais sem aproveitamento em outros sistemas de produção, nota-se um grande potencial de uso de subprodutos da agricultura com a incorporação destes nos traços de concretos e argamassas. Por sua vez, a casca de arroz possui grande volume e lenta capacidade de biodegradação, classificada como resíduo agrícola, decorrente da separação do grão de arroz de sua casca. Seu uso é destinado majoritariamente para a produção de energia, sendo utilizada no processo de queima. Após este uso, o destino da cinza resultante é pouco difundido, sendo esta muitas vezes disposta em aterros sanitários.

A cinza de casca de arroz (CCA) possui alto teor de sílica, podendo ser utilizada como adição mineral pozolânica (MEHTA E PITT, 1974). De acordo com Bezerra *et al.* (2011), argamassas com incorporação de CCA fornecem desempenho superior com relação às propriedades físicas e mecânicas, sendo seu uso viável do ponto de vista técnico e sustentável.

Na literatura recente, constata-se que o uso da cinza em produtos à base de cimento Portland (CP) vem sendo estudado quanto a seu efeito na retração, como observado em Ribeiro Maia (2009), Isaia *et al.* (2010), Gastaldini *et al.* (2014), Da Costa *et al.* (2019), Muthukrishnan, Gupta e Kua (2019) e Shaaban (2021).

Considerando a utilização de cinza natural em concretos de uso estrutural, amostras contendo teor de substituição de 15% desenvolveram resistências superiores e retração reduzida (RIBEIRO MAIA, 2009).

Gastaldini *et al.* (2014), ao analisar a influência da substituição de cimento por CCA ou microsíllica em seu ensaio de retração total, obtiveram reduções próximas a 50%, considerando cura em câmara úmida por períodos de 3 e 7 dias.

Ao analisar o impacto do uso de CCA sem tratamento e de fibras de polipropileno em compósitos de cimento, Da Costa *et al.* (2019) obtiveram reduções nos valores de retração livre e restringida com o emprego de CCA sem tratamento, recomendando seu uso para obras estruturais e rodoviárias.

Por outro lado, Muthukrishnan, Gupta e Kua (2019) analisaram o efeito de CCA com baixo teor de sílica nas propriedades físicas da argamassa, com reduções na retração autógena e na permeabilidade, obtendo parâmetros de resistência equivalentes às amostras padrão, sugerindo que estas argamassas poderão reduzir a retração nas primeiras idades e promover a cura interna, em virtude da propriedade de retenção de água que essa adição possui.

Ainda, Shaaban (2021) conduziu um estudo buscando a substituição completa de CP por um binário composto por pó de dolomita calcinada e CCA, obtendo reduções de até 50% na retração por secagem.

No entanto, apesar de haver muitas pesquisas que abordam o uso da cinza e seus impactos nas propriedades mecânicas da argamassa, há poucos trabalhos englobando o seu comportamento na mitigação de fissuras, especialmente as decorrentes de variações de temperatura e umidade.

Dessa forma, esse trabalho propõe uma análise da influência da adição de CCA em argamassas de revestimento, com vistas ao controle da retração nas primeiras idades e a decorrente de movimentações higrotérmicas.



## 1.1 JUSTIFICATIVA

As argamassas de revestimento têm como funções principais a proteção da estrutura e da alvenaria contra a ação de agentes externos, como o intemperismo e variações de temperatura, conferindo estanqueidade à edificação, ao mesmo tempo em que regulariza a superfície do sistema de vedação. Entre os requisitos fundamentais para cumprir essas funções, tem-se a baixa permeabilidade à água, capacidade de absorver deformações e baixa retração (ISAIA, 2007).

Conforme Lordsleem Jr. (1997), as fissuras são manifestações patológicas de comum ocorrência nas edificações, caracterizadas pelo resultado entre o alívio de tensões entre partes de um mesmo componente ou dois elementos em contato.

Dentro desta concepção, a ação cíclica de variação de temperatura e umidade gera gradientes de tensão nas estruturas, que ocasionam a abertura da fissura no mesmo em que a tensão presente na área afetada torna-se superior à tensão de rompimento do material.

Sob o ponto de vista funcional da vedação externa, a incidência dessa manifestação patológica acaba por comprometer o desempenho do sistema, como a estanqueidade, conforto termo acústico, durabilidade e o conforto visual dos usuários.

Para inibir sua ocorrência, a seleção de materiais apropriados torna-se importante para possibilitar que a estrutura cumpra com os requisitos de desempenho durante todo o curso de sua vida útil.

Nesse contexto, produtos derivados do cimento podem incorporar, dentro da etapa de dosagem, adições minerais para modificação de propriedades do estado fresco e endurecido. Vale ressaltar que os materiais inorgânicos, compostos por cimento Portland, apresentam microestrutura complexa, por causa da heterogeneidade das fases presentes no sólido (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A CCA residual apresenta-se como um material possível de ser utilizada, por possuir bom índice de atividade pozolânica. Argamassas contendo cinza residual em substituição ao cimento obtiveram resultados inferior de resistência aos 7 dias, mas

comparáveis aos 28 e 91 dias, quando comparado com amostras controle e com beneficiamento de moagem (ZAPARTE, 2020).

As argamassas de revestimento localizadas na parte externa da estrutura, quando expostas ao ambiente, são os componentes mais suscetíveis às ações externas. As fissuras associadas a esse sistema podem ser decorrentes de movimentações térmicas, higroscópicas, pela retração de produtos à base de cimento ou por alterações químicas dos materiais (THOMAZ, 1989).

Sendo assim, nota-se que o sistema de vedação externa é o mais sensível quanto a gradientes de temperatura e umidade. Em consequência disso, as fissuras decorrentes desses fenômenos são mais frequentes, podendo ocorrer ao longo da vida útil da edificação, em função do ciclo de variação de temperatura (ciclo dia-noite e mudanças de estação) e precipitações (chuva, granizo, neve, orvalho e geada).

Buscando mitigar fissuras nas primeiras idades em concretos de alto desempenho, Tuan, Ye e Breugel (2012) concluem que a CCA pode ser utilizada para aprimorar as propriedades nas primeiras idades, assim como reduzir o custo global do CAD, diminuindo significativamente a retração. Nesse estudo, a retração das amostras foi praticamente eliminada em concretos com 20% de CCA e partícula de tamanho médio de 5,6  $\mu\text{m}$ , considerando uma cura controlada de 15 dias.

De acordo com Christopher, Bolatito e Ahmed (2017), em seu artigo de revisão sobre a estrutura e propriedades de concretos e argamassas contendo CCA como substituto parcial do cimento, um traço apropriado contendo CCA como substituto parcial do cimento resultará em parâmetros de retração reduzidos. A literatura indica que houve reduções expressivas na retração por secagem, sendo esta redução progressiva à medida em que o teor de cinza cresce. Eles justificam essa afirmação pela menor quantidade de cimento na mistura, tamanho de poros e refinamento de grãos, o que fortalece a zona de transição.

Enquanto há bastante conteúdo sobre o uso de CCA, sendo sua aplicação bem aceita no meio científico, pouco se sabe sobre seu impacto na retração em argamassas. Ainda, pesquisas relacionam a origem das fissuras relacionadas às movimentações higrotérmicas, descrevendo que estas seriam propagação de microfissuras, hipóteses descritas por Thomaz (1989), John (2003) e Ferreira (2010). No entanto, há a necessidade de se desenvolver maiores estudos na relação entre a

mitigação da retração pelo uso da CCA, conforme observado em um artigo de revisão recente por Tayeh *et al.* (2021).

Após análise detalhada no estado da arte atual, constatou-se não haver um estudo que analise o uso de CCA residual, sem tratamento físico ou térmico, quanto à incidência de fissuras nas primeiras idades e em idades posteriores, esta última representada pelas variações de temperatura e umidade de um revestimento.

Dessa forma, esse estudo justifica-se na colaboração para o controle de fissuras, ao propor a utilização de um subproduto para o desenvolvimento e aplicação em argamassas de revestimento.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso da cinza de casca de arroz com e sem moagem no controle de fissuras decorrentes da retração plástica, por secagem e por variações de temperatura e umidade em argamassas de revestimento.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o impacto nas propriedades da argamassa de revestimento com a inclusão das cinzas de casca de arroz com e sem moagem;
- Avaliar a formação e propagação de fissuras ocasionadas pela retração plástica, por secagem e por gradientes de temperatura e umidade;
- Verificar a viabilidade de aplicação das argamassas com as adições de cinza de casca de arroz residual e moída em áreas expostas ao meio externo.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura desta pesquisa é composta de cinco capítulos. O primeiro aborda uma breve introdução ao tema, as justificativas, objetivos geral e específicos.

Na sequência, o capítulo dois versa sobre uma breve revisão bibliográfica abordando o fenômeno da retração, as argamassas de revestimento e o uso de cinza de casca de arroz.

O capítulo três descreve os materiais e ensaios realizados.

O capítulo quatro expõe os resultados, análise e discussão dos ensaios.

O capítulo cinco mostra as considerações finais dos ensaios com base na hipótese de pesquisa.

Por fim, as referências e os apêndices, contendo ilustrações, análises estatísticas e mais dados a respeito da pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 VEDAÇÕES VERTICAIS

A vedação vertical é um subsistema de uma edificação, podendo ser interna ou externa. Este compartimenta e define os ambientes e possui a função de controlar a ação de agentes indesejáveis, como ações do clima. Como elementos frequentes de uma vedação em alvenaria, estão as paredes, instalações elétricas e hidráulicas, esquadrias e revestimentos (Figura 1).



**Figura 1: Elementos do sistema de vedação de alvenaria estrutural antes da execução do revestimento**

**Fonte: Roman e Parizotto Filho (2020)**

Dentro desse aspecto, o sistema de vedações verticais internas e externas possui parâmetros mínimos de desempenho a serem cumpridos para novas edificações habitacionais, conforme preconiza a NBR 15575 (ABNT, 2013c), mais especificamente em sua parte 4.

**Tabela 1: Vida útil de projeto (VUP) dos sistemas**

<b>Sistema</b>	<b>VUP (anos)</b>
Estrutura	≥50
Pisos internos	≥13
Vedação vertical externa	≥40
Vedação vertical interna	≥20
Cobertura	≥20
Hidrossanitário	≥20

**Fonte: ABNT (2013c)**

Conforme ilustra a tabela 1, nota-se que o sistema de vedações verticais externas, onde se situam as fachadas, possui horizonte de projeto de 40 anos, dados os devidos processos de manutenção.

## 2.2 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

O manual de revestimentos (ABCP, 2002b) conceitua as argamassas como sendo um material de construção constituído por uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento ou cal), agregado miúdo e água, podendo serem adicionados alguns produtos especiais (aditivos ou adições), buscando melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto.

Inserido nesse sistema, o revestimento de argamassa representa o cobrimento de uma superfície, constituído de uma ou mais camadas superpostas, podendo receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013a). Pode recobrir superfícies de concreto, alvenaria ou outros sistemas construtivos, exercendo também importante função de regularização para recebimento do acabamento, como pintura, revestimento cerâmico, pastilhas, texturas, etc).

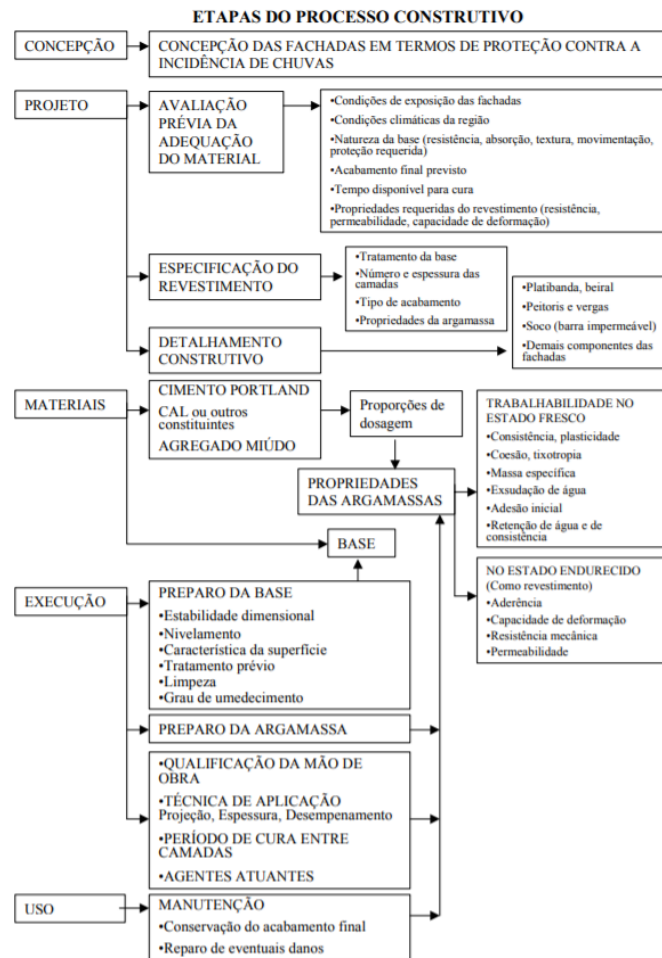
As espessuras recomendadas para os revestimentos são dadas pela NBR 13749 (ABNT, 2013), conforme tabela 02.

**Tabela 2: Espessuras recomendadas para revestimentos**

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos	$e \leq 20$

Fonte: ABNT (2013b)

Conforme ilustra a figura 2, existem diversos fatores intervenientes ao desempenho do revestimento de argamassa, no que concerne à exposição a ações climáticas.



**Figura 2: Fatores que influenciam o desempenho dos revestimentos de argamassa, durante o processo construtivo de edificações**

Fonte: Selmo (1989) *apud* Selmo (2002)

Ainda, seguindo a referida norma, a argamassa de revestimento é entendida como a mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.

Este revestimento pode ser classificado com base nos seguintes pontos (SILVA, 2006; ABNT, 2013):

a) em função do número de camadas de aplicação:

- Revestimento de camada única;
- Revestimento de duas camadas;

b) em função ambiente de exposição:

- Revestimentos internos;
- Revestimentos externos;
- Revestimento em contato com o solo;

c) em função do comportamento à agentes agressivos:

- Revestimento comum;
- Revestimento de proteção radiológica;
- Revestimento hidrófugo;
- Revestimento de permeabilidade reduzida;
- Revestimento termoisolante;
- Revestimento acústico;

d) em função da camada de revestimento

- Chapisco;
- Emboço;
- Reboco;

e) em função do acabamento de superfície:

- Camurçado (feltrado);
- Chapiscado;
- Desempinado;
- Sarrafeado;
- Imitação travertino;
- Lavado;
- Raspado.

Neste contexto, o revestimento de argamassa possui as seguintes atribuições (SABBATINI, 1998; CARASEK *et al*, 2011):

- Proteção dos elementos de vedação das edificações de ação direta originária de intemperismo e agentes agressivos;
- Contribuição no cumprimento das funções do sistema, como o isolamento térmico (~30%), acústico (~50%) e estanqueidade à água

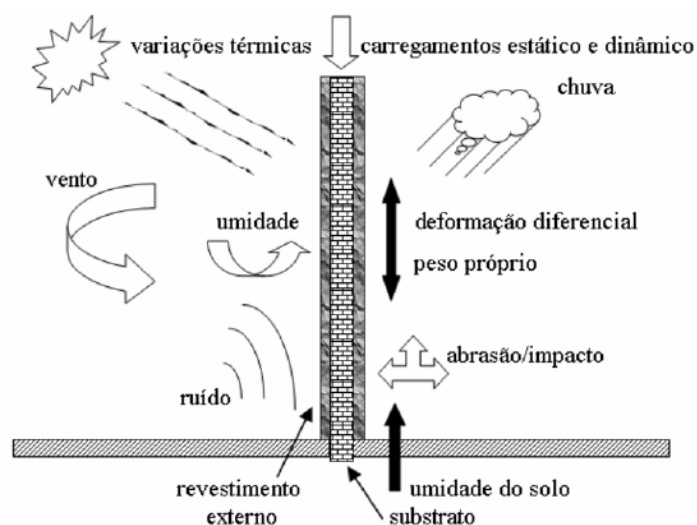


(~70 a 100%) e gases, segurança ao fogo, resistência ao desgaste e abalos superficiais;

- Regularização da superfície dos elementos de vedação, como base para assentamento de outros revestimentos decorativos ou como acabamento final;
- Contribuição para a estética da fachada.

No entanto, a incidência de fissuras compromete a aderência, a estanqueidade, a durabilidade do revestimento e o acabamento superficial, deixando de desempenhar suas funções com a mesma eficiência e comprometendo sua vida útil (SABBATINI, 1998).

De acordo com Leal (2003), o desempenho dos revestimentos argamassados é afetado com o passar do tempo por fatores relacionados com as condições de produção, exposição e ação do usuário. Esses fatores podem ser extrínsecos, como temperatura, umidade, precipitações, vento (Figura 3), e intrínsecos, relacionados às propriedades dos materiais, componentes e sistemas. Dentre as manifestações patológicas desse sistema, tem-se a perda de aderência ao substrato, fissuras provenientes de tensões de natureza térmica e higroscópica e a degradação dos materiais.



**Figura 3: Fatores extrínsecos atuantes nos revestimentos de argamassa**

**Fonte: Leal (2003)**

### 2.3 FISSURAS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A retração pode ocasionar a abertura de fissuras na camada do revestimento, possibilitando a entrada de agentes deletérios para dentro do sistema, podendo estes provocarem outros fenômenos prejudiciais à qualidade e durabilidade da edificação.

A argamassa de revestimento, a partir do momento de aplicação sobre uma base, forma uma camada que fica impedida de contrair-se livremente, gerando assim tensões de tração, podendo ocasionar a fissuração. (BASTOS *et al.*, 2005).

A formação de microfissuras acontece quando as tensões decorrentes da variação do volume da argamassa ultrapassam a resistência à tração naquela região, sendo a abertura da microfissura o fenômeno que induz ao alívio de tensão. A variação dimensional desta ocorre progressivamente até o momento em que a tensão é insuficiente para prolongar a fissura. A classificação destas aberturas é dada na tabela 3.

**Tabela 3 – Classificação de aberturas**

Classificação	Abertura
Microfissura	Até 0,05 mm
Fissura	Até 0,5 mm
Trinca	Até 1 mm
Rachadura	Acima de 1 mm

**Fonte: NBR 9575 (2010)**

As fissuras podem ser classificadas como prejudiciais ou não. Aquelas que estão expostas aos usuários, assim como aquelas que interferem nas propriedades dos revestimentos, tais como estanqueidade e aderência a base, são classificadas como prejudiciais. Por outro lado, as microfissuras se manifestam no interior da camada revestida, inicialmente não interferindo nas propriedades, porém podendo vir a se expandir pelo ciclo de retração e expansão do revestimento oriundo dos gradientes de temperatura e umidade, gerando assim fissuras prejudiciais ao sistema (LORDSLEEM JR, 1997).

Nesse aspecto, a norma de desempenho (ABNT, 2013c) classifica as fissuras de um componente estrutural como a separação na superfície de um componente, com abertura capilar, causada por tensões normais ou tangenciais. Esta ainda classifica as fissuras como ativas, quando há variação com o tempo no tamanho da abertura, e passiva, quando sua abertura não sofre esta variação.

As retrações em argamassas nas primeiras idades podem ser subdivididas em:

- Retração plástica: ocorre antes do fim da pega, ainda em estado fresco, por meio da evaporação da água de amassamento (exsudação), podendo resultar em fissuração superficial;
- Retração por secagem: ocorre após o fim de pega, devido à evaporação da água do poro da mistura cimentícia;
- Retração química: ocorre durante o processo de hidratação, em decorrência da diferença de volume entre os compostos formados por esse processo (hidróxido de cálcio, etringita, silicato de cálcio hidratado);
- Retração térmica: Dada em função da reação exotérmica gerada pela combinação de água com o cimento, liberando calor para o ambiente.

Dentre os diversos fatores que podem provocar a fissuração em revestimentos nas primeiras horas após a aplicação, a retração plástica apresenta-se como o fenômeno mais relevante (SILVA *et al.*, 2010).

Essa manifestação patológica é desencadeada pela perda de água da argamassa pelo processo de exsudação (saída de água em direção ao meio externo), quando esta ainda se encontra em seu estado plástico, em virtude de troca de umidade com o ambiente (NUNES E FIGUEIREDO, 2007).

A retração plástica é variação dimensional que ocorre em produtos a base de cimento durante as primeiras horas de cura, quando a mistura ainda se encontra em estado plástico, quando esta ainda não possui resistência significativa. Isso se atribui à pressão capilar negativa, que induz à contração da pasta de cimento.

Esta pode ser mais evidente quando a argamassa está exposta a condições adversas, como alta temperatura ambiente, baixa umidade relativa do ar e ventos de alta intensidade, fatores que combinados contribuem para alta taxa de evaporação (SNELL, 2008). Ainda, a retração por secagem (figura 4) se dá pelo mesmo mecanismo que a retração plástica, sendo que esta ocorre no estado endurecido (AOKI, 2020).

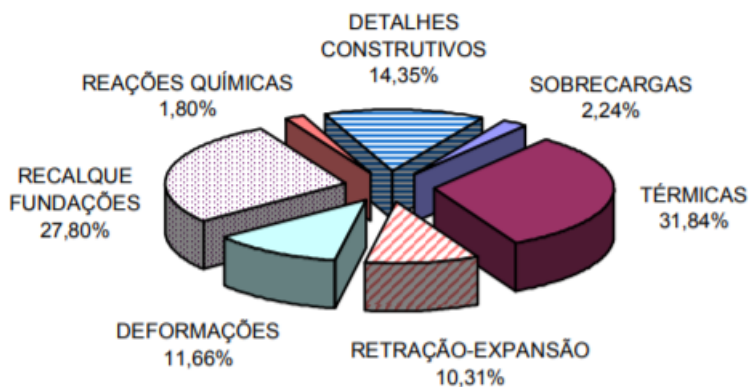


**Figura 4: Fissuras decorrentes de retração por secagem em fachada**

**Fonte: Corsini (2010)**

Dado que o revestimento possui uma espessura considerada pequena em relação a uma área grande, essa situação favorece a perda de água por evaporação (SILVA *et al.*, 2010). A perda excessiva de água das argamassas nas primeiras horas pode ocasionar microfissuras na interface, diminuindo a aderência (CARASEK *et al.*, 2001).

Os fenômenos que resultam na fissuração dos revestimentos são complexos e muito variados (Figura 5). Nos casos específicos em estudo, estão relacionados à ocorrência de tensão de tração que incide já nos instantes iniciais da aplicação da argamassa sobre a base. Estas tensões, geradas na argamassa ainda no estado fresco, são provocadas por deformações relativas à perda de água, seja por sucção do substrato ou por evaporação (SILVA, 2011).



**Figura 5: Fatores causadores de fissuras em alvenarias**

Fonte: Magalhães (2004)

Nesse contexto, o presente trabalho focaliza nos movimentos de retração das primeiras idades e do ciclo de contração e expansão, oriundos dos gradientes de temperatura e umidade.

#### 2.4 POSIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Uma vez aplicada e curada, a presença de água nas fachadas externas das edificações está relacionada com a umidade relativa do ambiente e à incidência de chuvas.

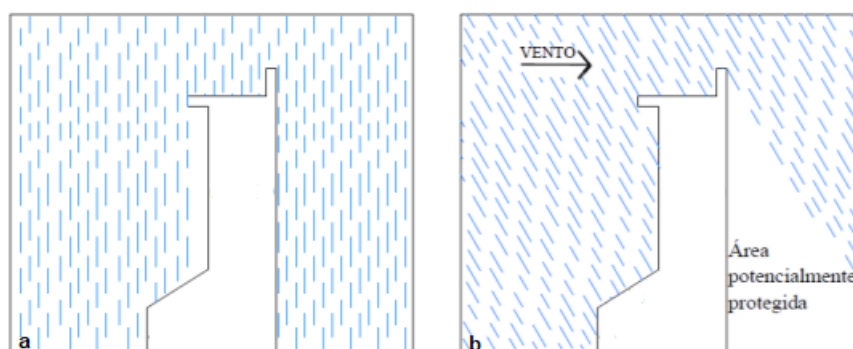
Em uma parede, a variação no teor de água é dada pela absorção de água, quando há precipitação, e pela liberação de água subsequente, quando a precipitação cessa. A maior parte da umidade absorvida, quando começa a migrar para o meio externo (processo de secagem), seca através do reboco, pelo processo de difusão de vapor de água (JORNE, 2010).

Taguchi (2010) cita que “a infiltração de água pode ser agravada pela ação combinada do vento (pressão), direção e intensidade tanto da chuva como do vento, e as condições de exposição da alvenaria”. Conforme o autor, a presença de fissuras pode contribuir para a gravidade das manifestações patológicas já existentes.

De acordo com Medeiros *et al.* (2017), a incidência de chuvas dirigidas deve ser levada em conta para a seleção de materiais, priorizando as fachadas que

necessitem de materiais mais resistentes à umidade para as faces que apresentarem maior intensidade de chuva dirigida.

A figura 6 ilustra a incidência de chuvas em uma edificação. Em dias chuvosos em que não há presença de vento ou quando sua velocidade é pequena, a água se concentra nos telhados, enquanto que quando há incidência de vento considerável, a tendência das gotículas é de atingirem a fachada, submetendo-a a diferentes níveis de umidade.

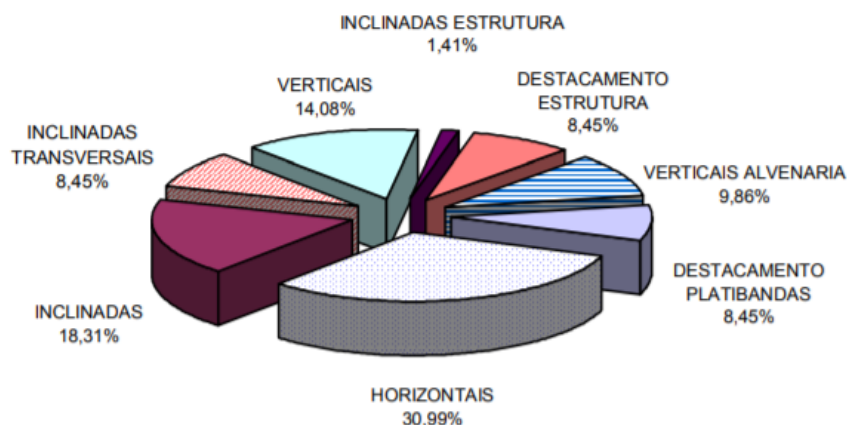


**Figura 6: Direção das precipitações: (a) sem vento (b) com vento**

**Fonte: Thomaz (1990)**

Por outro lado, a posição do revestimento em relação ao sol também afeta a variação de temperatura, sendo essa maior em elementos mais expostos, com incidência direta da luz solar.

A intensidade das movimentações e conseqüente incidência de fissuras (Figura 7) também é dada em função das propriedades físicas dos materiais, como dilatação térmica, massa específica e coeficiente de condutibilidade térmica, dependendo também da intensidade, frequência e gradiente de temperatura, assim como a vinculação a outros elementos da edificação (THOMAZ, 1989; MAGALHÃES, 2004).



**Figura 7: Incidência de fissuras em alvenaria causadas por variações de temperatura**

**Fonte: Magalhães (2004)**

## 2.5 USO DE ADIÇÕES — CINZA DE CASCA DE ARROZ

As adições pozolânicas são consideradas substâncias finamente divididas que, quando combinadas com cimento e água, interagem física e quimicamente com os produtos da hidratação do clínquer, alterando a microestrutura do material.

A casca de arroz é um material classificado como resíduo sólido de origem agrícola, de grande volume e com lenta biodegradação. Atualmente, as empresas beneficiadoras de arroz são as principais utilizadoras desse material, sendo utilizadas como material de queima para o processo de beneficiamento. No entanto, após esse uso, a cinza resultante geralmente não é reutilizada, sendo disposta em aterros sanitários ou em outros locais de deposição de resíduos.

No âmbito da sustentabilidade, verifica-se uma crescente demanda por materiais que causam o mínimo de danos ao meio ambiente. Segundo Mehta e Monteiro (2008), para cada tonelada de arroz, gera-se em torno de 200 kg de cascas que, após a queima, gera cerca de 40 kg de cinza. Dessa forma, a reutilização da cinza de casca de arroz (CCA) em processos construtivos se enquadra no âmbito do reaproveitamento de materiais inservíveis para determinado sistema de produção.

A casca de arroz é composta quimicamente por 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica, sendo os dois primeiros compostos amplamente reduzidos através do processo de queima do material.

A CCA tem sido apresentada como um material com atividade pozolânica. De acordo com Silva (2009), a cinza possui elevado teor de sílica, situado na faixa entre 74% e 97%; e sua morfologia está atrelada ao processo de queima ao qual foi exposta. A temperatura e sua duração durante o processo de queima da casca de arroz podem resultar na transformação para a sílica no estado amorfo, possuindo maior reatividade, ou cristalina, com menor grau de reatividade.

Para tanto, Mehta (1992) sugere que a temperatura de queima esteja entre 500° C e 700° C. Caso haja um controle adequado da queima, é possível obter um material composto em sua maioria por sílica, em estado amorfo e de alta reatividade, possuindo grande potencial pozolânico (MEHTA E PITT, 1977).

A reação química se dá entre a sílica proveniente da adição mineral e o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , produto formado durante o processo de hidratação, resultando na formação de C-S-H (GARCIA *et al.*, 2015).

Por outro lado, as alterações físicas variam em função da finura do material. O efeito microfíler ocorre quando as partículas da adição são menores que o diâmetro das partículas de cimento, ocasionando o preenchimento de vazios entre os grãos de cimento na mistura.

Além disso, uma melhoria da microestrutura da zona de transição pode ser observada, uma vez que a adição reage com a água livre, geralmente encontrada sob os agregados (TUTIKIAN E DAL MOLIN, 2008).

A classificação dessas adições minerais como materiais pozolânicos depende do índice de atividade pozolânica, determinado conforme prescrito na NBR 5751 (ABNT, 2012).

Vários estudos já abordaram o uso de cinza de casca de arroz em argamassas de revestimento, analisando seus impactos nos parâmetros de resistência, aderência e mitigação de eflorescências (SILVA, 2004; KIELING *et al.*, 2009; BEZERRA *et al.*, 2011; ERHART, 2014; SOARES *et al.*, 2015; FREITAS, 2018).

Ao investigar a resistência de aderência de chapiscos contendo sílica da casca de arroz, Silva (2004) obteve resultados favoráveis em relação ao chapisco comum, em testes realizados para superfícies secas e para saturadas com superfície seca, sendo a maior parte das rupturas concentradas na argamassa. Nesse contexto,



Kieling *et al.* (2009) verificaram que a CCA incorporada em teores de 5% e 10% proporcionaram ganhos de resistência de aderência de até 100% em relação às amostras referência.

Por outro lado, Bezerra *et al.* (2011) investigaram parâmetros do estado endurecido em argamassas de traço 1:2:9 (cimento:cal:areia) com diversos teores de substituição de cimento por cinza, e obtiveram menores índices de absorção de água, mantendo parâmetros de resistência comparáveis àquelas sem a adição mineral, este último também observado por Soares *et al.* (2015).

Com relação à presença de eflorescências, Freitas (2018) observou uma menor incidência justificada pela menor penetração de sal, evidenciado principalmente em placas com 15% de CCA.

Por outro lado, Rêgo (2004) expõe que a queima da casca de arroz, mesmo sem passar por controle, resultou em uma cinza com diâmetro médio de 15,19  $\mu\text{m}$ , obtendo um índice de pozolanicidade de 85%.

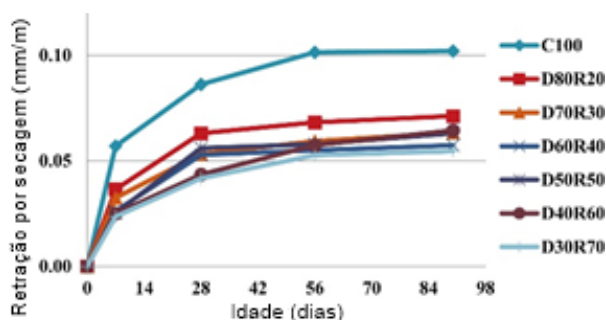
Para Kieling (2009), o uso da CCA proporcionou ganhos de resistência de aderência entre a argamassa e a base de até 100% sobre as amostras sem a adição, considerando um teor de 5% em substituição ao cimento.

Van *et al.* (2014) classificam a CCA como um agente de cura interna, absorvendo parte da água livre da mistura e proporcionando uma hidratação contínua e de longa duração, como resultado de sua reação pozolânica. Nesse mesmo estudo, os autores concluem também que a incorporação de cinza em CAD melhora a trabalhabilidade e a resistência à compressão, enquanto mitiga a retração autógena.

Nesse contexto, Liu *et al.* (2017) classifica a CCA como um pó super fino, poroso, com mecanismo de absorção de água vinda de forças capilares, possuindo poros na escala do nanômetro. Seus efeitos na retração plástica e por secagem como agente de cura interna estão relacionados à capacidade de absorção dessa adição. Na fase fresca, a retração plástica ocorre pela rápida perda de água por evaporação e pressão capilar enquanto na retração por secagem as causas são semelhantes, porém essa ocorre na fase de endurecimento do concreto.

Buscando outras formas de mitigar esse fenômeno, ao mesmo tempo em que se procura substituir o cimento Portland em concretos, Shaaban (2021), em sua

pesquisa, avalia a substituição total do CP por um binário constituído por pó de dolomita calcinada e cinza de casca de arroz, investigando parâmetros como tempo de pega, retração por secagem e resistência mecânica. Nesse estudo, o pesquisador conclui que os tempos de pega inicial e final tendem a ser maiores com um binário constituído por 30% dolomita e 70% CCA, enquanto que a retração por secagem é menos presente à medida em que o teor de cinza na mistura é aumentado, conforme figura 8.



**Figura 8: Impacto na retração por secagem de concretos compostos pelo binário dolomita-cinza**

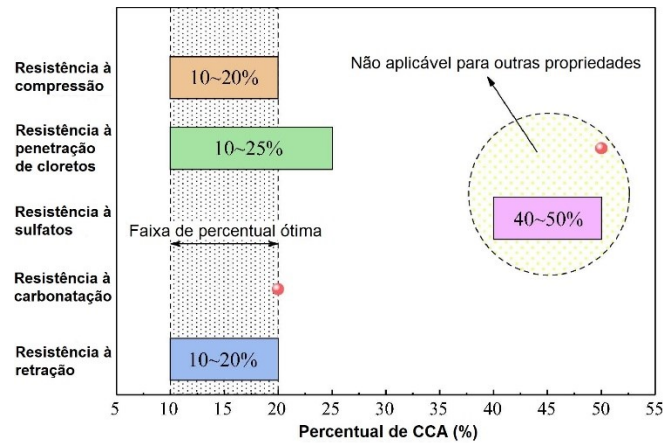
Fonte: Adaptado de Shaaban (2021)

Além de associar o uso de cinza ao incremento de propriedades de resistência à retração, Christopher, Bolatito e Ahmed (2017), em seu artigo de revisão, verificam que os concretos com essa adição possuem melhores resultados contra agentes deletérios, como ataque por sulfatos e por cloretos, conferindo maior durabilidade à estrutura. Os mesmos verificaram também que há uma significativa redução na retração por secagem, sendo esse efeito diretamente proporcional com o aumento da substituição de CP.

Por outro lado, Zhao *et al.* (2018) fizeram uma correlação por meio de imageamento digital de forma a obter o tempo de abertura e o índice das fissuras plásticas, avaliando os efeitos da temperatura do ar, relação água/materiais cimentícios e tipo de substrato.

Ao investigar a interferência da CCA nas propriedades de produtos à base de cimento, Wang *et al.* (2021) estabelecem que, ao analisar uma variedade de estudos que abordam esse tema, o teor ótimo de cinza na mistura está entre 10% e 20%,

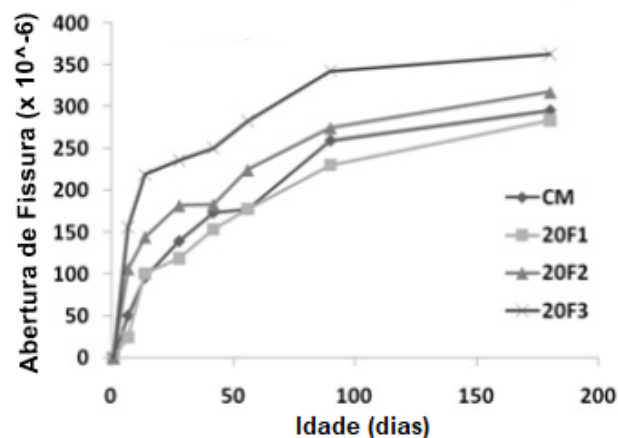
quando considerados os parâmetros de resistência à retração, sendo que as melhores contribuições estão contidas nesse intervalo, conforme figura 9.



**Figura 9: Faixas ótimas de uso de CCA para diferentes propriedades**

Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2021)

Em contrapartida, ao investigar a influência do tamanho médio de partículas de CCA em concretos com a retração por secagem, Habeeb e Fayyadh (2009) constataram que partículas mais finas apresentaram os maiores valores de retração dentre as amostras contendo a adição pozolânica. A figura 10 expõe os resultados da amostra controle – CM e das amostras com 20% de CCA, sendo F1 a cinza mais grossa e F3 a mais fina. Nota-se que as amostras mais finas apresentaram maiores fissuras, ultrapassando inclusive as amostras sem adição.



**Figura 10: Abertura de fissuras em concretos com cinza em diferentes finuras**

Fonte: Adaptado de Habeeb e Fayyadh (2009)

Em outro artigo (tabela 4), Chindaprasirt *et al.* (2004) pesquisaram a retração plástica e por secagem em barras de argamassa em períodos de 1, 4, 7, 18, 25, 60 e 90 dias, estudando argamassas com cinzas sem moagem (CVR), frações finas (CVF), médias (CVM), grossas (CVG), passantes na peneira #200 (CV200) e #325 (CV325), obtendo retrações plásticas até 32% para a cinza volante sem beneficiamento em relação às mais finas, e retrações por secagem comparáveis aos 90 dias.

**Tabela 4 – Retração de barras de argamassas com cinza volante em diferentes finuras**  
**Retração plástica e por secagem, 10<sup>-6</sup> mm/mm**

	1 dia	4 dias	7 dias	18 dias	25 dias	60 dias	90 dias
REF	182	345	588	732	816	909	987
CVR	90	270	484	605	669	704	721
CV200	103	333	566	633	702	729	768
CV325	133	338	554	653	689	730	756
CVF	86	291	537	628	665	688	709
CVM	95	296	493	573	643	670	696
CVG	141	342	567	693	773	802	852

**Fonte: Adaptado de Chindaprasirt *et al.* (2004)**

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma vez que o objetivo de analisar o impacto do uso de CCA na retração de argamassas de revestimento foi definido, faz-se necessário o estudo dos materiais utilizados e variáveis que podem afetar no desempenho deste material.

Dessa forma, é proposto um estudo baseado na substituição do cimento Portland por CCA sem alterações físicas (residual) e com moagem no moinho de bolas, no intuito de analisar as propriedades resultantes das amostras e destacar seus impactos na utilização.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As argamassas a serem produzidas e testadas são compostas por cimento, cal hidratada, areia natural, cinza de casca de arroz e água em sua composição.

A proposta de estudo conta com o uso de cimento Portland “Maxifort”, do tipo CP II F 32, da empresa Supremo Cimento®, com adição de material carbonático (filler) entre 11 e 25%, segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018). Esta especificação é recomendada pela fabricante para uso em argamassas de revestimento e encontrada livremente no comércio.

Tendo em vista a dimensão de um revestimento argamassado e sua consequente tendência à fissuração, adotou-se um cimento com baixo calor de hidratação, de modo a gerar menos fissuras térmicas. Também se optou por não adotar cimentos que possuíssem maiores teores de adições, assim como aqueles com pozolana, para não haver eventual interferência na avaliação das adições em análise. O uso deste tipo de cimento também se encontra no rol de aplicações recomendadas do cimento CII F 32 do guia de utilização da ABCP (ABCP, 2002a).

A tabela 5 apresenta a composição química do cimento em questão, enquanto a tabela 6 apresenta seus parâmetros físicos, químicos e mecânicos, com seus requisitos, de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018).

**Tabela 5 – Composição química e requisito – CP II-F-32 Maxifort**

Composto	Porcentagem (%)	Requisito
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	18,42	-
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	0,69	-
Óxido de cálcio (CaO)	62,51	-
Óxido de Magnésio (MgO)	-	-
Óxido de Manganês (Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,09	-
Óxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	-	-
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,12	-
Óxido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	2,50	≤ 4,5
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,19	-
Óxido de Sódio (Na <sub>2</sub> O)	-	-
Cloro (Cl)	0,02	-

Fonte: Supremo Cimento

**Tabela 6 – Ensaio e requisitos – CP-II-F-32 Maxifort**

Ensaio	Resultado	Unidade	Requisito
Resistência à compressão - 3 Dias	25	MPa	≥ 10
Resistência à compressão - 7 Dias	29	MPa	≥ 20
Resistência à compressão - 28 Dias	34	MPa	≥ 32
Massa específica	3,03	g/cm <sup>3</sup>	≥ 2600
Superfície específica de Blaine	3968	cm <sup>2</sup> /g	-
Tempo de início de pega	252	min	≥ 60
Tempo de fim de pega	316	min	≤ 600
Resíduo na peneira #75 µm	0,58	%	≤ 12,0
Resíduo insolúvel	3,5	%	≤ 7,5
Perda ao fogo	12,2	%	≤ 12,5

Fonte: Supremo Cimento

Analisando os dados, chega-se à conclusão que o cimento adotado cumpre com os requisitos obrigatórios e os facultativos analisados, estando adequado para o uso na construção civil.

A cal hidratada selecionada é do tipo CH-III, obtida do processo de hidratação da cal virgem, é composta em sua maioria por hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. Esta é utilizada principalmente para conferir melhor plasticidade e conseqüente possibilidade de aplicação em obra. A tabela 7 contém os ensaios realizados pela fabricante para atendimento de requisitos físicos e químicos da norma NBR 7175 (ABNT, 2003), que regulamenta os requisitos para a cal hidratada.

**Tabela 7 - Características da cal hidratada**

Ensaio	Resultado	Unidade	Requisito	
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO + MgO)	90,12	%	≥ 88	
Anidrido carbônico (%CO <sub>2</sub> )	10,82	%	≤ 13	
Óxidos não hidratado calculado (CaO + MgO)	13,25	%	≤ 15	
Finura (% retida acumulada)	60 μm	0,02	%	≤ 0,5
	75 μm	10,54	%	≤ 15

Fonte: Tancal Comércio e Indústria de Cal

A cinza de casca de arroz é proveniente da Empresa Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. localizada na cidade de Alegrete/RS, correspondentes à safra de arroz do ano de 2018. Verificou-se que sua temperatura de calcinação não é controlada pela empresa, porém estima-se que esta fique entre 450 e 650 °C. Em um estudo avaliando esta sem controle de temperatura em contraste com cinzas calcinadas com temperaturas controladas, Olivo (2020) concluiu que a cinza residual apresentou parâmetros semelhantes às amostras controladas, inferindo que a mesma possui resultados próximos das calcinadas com temperaturas de 400 °C e 500 °C, recomendando seu uso para substituição em até 15% do CP para argamassas de revestimento.

A composição química é formada majoritariamente por sílica, conforme apresentado na tabela 8.

**Tabela 8 – Composição química da CCA**

Composto	CCA (%)
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	86,1
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	1,8
Óxido de cálcio (CaO)	0,9
Óxido de Magnésio (MgO)	0,4
Óxido de Manganês (Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,4
Óxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,4
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,3
Óxido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	0,1
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,1
Perda ao Fogo	9,44

Fonte: Zaparte (2020)

Analisando as composições apresentadas pela fonte, tem-se que a cinza adotada cumpre com os requisitos químicos da NBR 12653 (ABNT, 2014), de acordo com os requisitos expostos na tabela 9.

**Tabela 9 - Requisitos químicos de materiais pozolânicos**

Propriedades	CCA	NBR 12653
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	86,5	≥ 70,0
Óxido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	0,1	≤ 4,0
Teor de umidade	0,02	≤ 3,0
Perda ao fogo	9,44	≤ 10,0
Álcalis disponíveis em Na <sub>2</sub> O	0,0	≤ 1,5

**Fonte: NBR 12653 (ABNT, 2014)**

Com relação às propriedades físicas, conforme tabela a seguir, cabe salientar que o processo de beneficiamento por meio do moinho de bolas reduziu consideravelmente a superfície específica e o tamanho médio de partículas. No entanto, a diferença do tempo de moagem entre duas e três horas não apresentou resultados tão díspares, conforme tabela 10, o que levou à adoção do tempo de 2 horas de moagem para um dos grupos de amostra.

**Tabela 10 – Atributos físicos da CCA**

Amostra	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Superfície específica (cm <sup>2</sup> /g)	Tamanho médio das partículas (µm)
Sem moagem	2,241	2281,53	55,56
Moagem de 2 horas	1,924	12407,08	12,87
Moagem de 3 horas	1,870	11790,82	5,71

**Fonte: Zaparte (2020)**

O processo de moagem da cinza se deu pela utilização de moinho de bolas, composto pelo jarro e aproximadamente 100 esferas, conforme figura 11. O processo de moagem se deu pelo atrito entre as esferas, por um período de 2 horas.

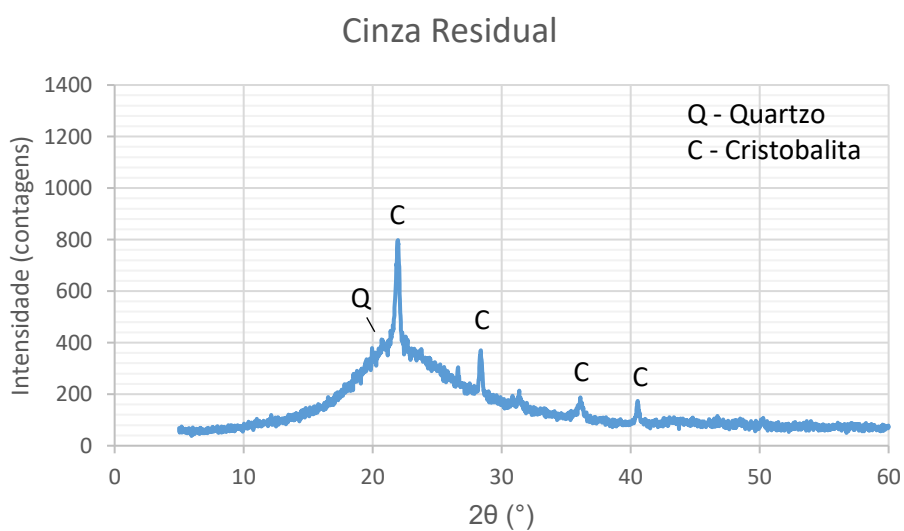




**Figura 11: Jarro e bolas esféricas**

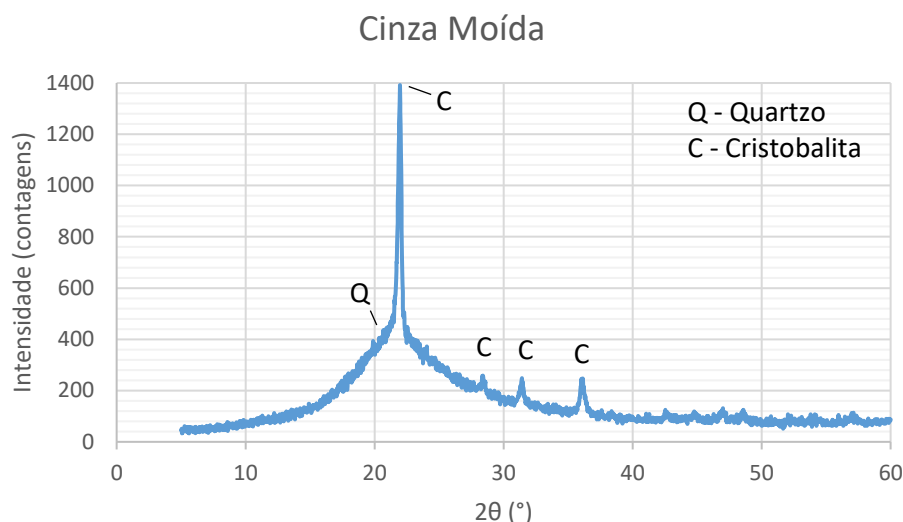
**Fonte: Autor (2021)**

A caracterização mineralógica da CCA, nas formas residual e moída, foi realizada através da análise de DRX dos materiais. As figuras 12 e 13 apresentam os difratogramas de raios-X de cada cinza, juntamente com a identificação dos picos.



**Figura 12: Difratograma de Raios-X – Cinza Residual**

**Fonte: Autor (2021)**



**Figura 13: Difratoograma de Raios-X – Cinza moída**

Fonte: Autor (2021)

Como pode ser interpretado pela comparação entre os difratogramas, a moagem da cinza não resultou alterações perceptíveis na composição mineralógica do material, uma vez que não se constataram novos picos. Os picos mais evidentes revelam a presença de fases cristalinas de SiO<sub>2</sub> (Cristobalita e Quartzo).

Por outro lado, o agregado miúdo utilizado foi a areia natural fina, extraída de leito de rio. Sua caracterização física está na tabela 11.

**Tabela 11 – Caracterização física da areia**

<b>Propriedades</b>	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,69
Dimensão máxima característica (mm)	1,2
Módulo de finura	1,61

Fonte: Autor (2021)

Por fim, foi utilizada água potável, em temperatura de 23 ± 2 °C, proveniente do sistema de abastecimento local.

A escolha dos materiais se deu em função do desempenho e parâmetros aceitáveis a serem alcançados pela argamassa, como também possuindo enfoque na viabilidade de uso desses traços no mercado atual, ao adotar traços e materiais usuais.

## 3.2 MÉTODOS

Para este estudo são propostos os seguintes ensaios, os quais serão descritos adiante:

- Determinação do traço e abatimento;
- Densidade de massa e teor de ar incorporado;
- Retenção de água;
- Índice de vazios e absorção de água por imersão;
- Permeabilidade;
- Microscopia Eletrônica de Varredura;
- Resistência à compressão e à tração na flexão;
- Retração restringida;
- Ensaio de ciclos de temperatura/umidade.

### 3.2.1 Ensaio no estado fresco

A tabela 12 resume os ensaios realizados no estado fresco, suas normativas utilizadas como referência, e o objetivo de cada ensaio.

<b>Ensaio</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>	<b>Objetivo</b>
Determinação do traço e índice de consistência	mm	NBR 13276 (2016)	Avaliar o abatimento e capacidade de aplicação
Densidade de massa	g/cm <sup>3</sup>	NBR 13278 (1995)	Caracterizar o material e o impacto na porosidade e na resistência
Teor de ar incorporado	%	NBR 13278 (1995)	Verificar a influência da porosidade e posteriormente na microestrutura
Retenção de água	%	NBR 13277 (2005)	Avaliar a capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando exposta a solicitações que induzam a perda de água de amassamento

Fonte: Autor (2021)

### 3.2.1.1 Determinação do traço e abatimento

Buscou-se estabelecer um traço que pudesse cumprir com os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005) sem comprometer o espalhamento e viabilidade de aplicação. Optou-se pelo traço 1:2:9 (cimento:cal:areia) como padrão para os ensaios. Também se adotou dois teores de substituição iguais para avaliar o impacto de cada tipo de cinza nas propriedades dos estados fresco e endurecido e as diferenças entre elas. A tabela 13 identifica os três tipos de amostras e resume os traços de cada uma.

**Tabela 13 – Identificação das amostras e percentual de substituição (em massa)**

Amostra	Cimento	CCA <sub>Residual</sub> (CCA <sub>R</sub> )	CCA <sub>Moida</sub> (CCA <sub>M</sub> )	Cal	Areia	a/mc
Ref.	1	-	-	2	9	2,25
CCA <sub>R</sub>	0,85	0,15	-	2	9	2,25
CCA <sub>M</sub>	0,85	-	0,15	2	9	2,25

Fonte: Autor (2021)

O procedimento de mistura leva em conta a NBR 13276 (ABNT, 2016), com a posterior determinação do índice de consistência, na mesa de consistência (*flow table*), buscando atingir o espalhamento desejado, neste caso entre 220 mm e 250 mm. Para o caso de não ser possível atingir essa meta, a dosagem de aditivo superplastificante se apresentou como uma opção, como forma de aumentar o espalhamento sem aumentar a quantidade de água na mistura.

### 3.2.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio de densidade de massa foi conduzido no estado fresco, para três corpos de prova de cada argamassa, com base na NBR 13278 (ABNT, 1995).

Uma vez introduzidas no recipiente, compactadas em 3 camadas e rasadas, as amostras foram pesadas e a densidade calculada. O volume da amostra considerado foi o mesmo do molde prismático, 4x4x16 cm.

Em seguida, o teor de ar incorporado foi calculado a partir das recomendações da referida norma, considerando a argamassa do tipo dosada e preparada em obra.

### 3.2.1.3 Retenção de água

A retenção de água foi determinada seguindo os procedimentos da NBR 13277 (ABNT, 2005a), com a utilização do funil de Buchner, sendo três repetições para cada argamassa.

### 3.2.2 Ensaio no estado endurecido

A tabela 14 sumariza os testes para o estado endurecido, se baseando em normativas e estudos referenciais, e o objetivo de cada ensaio.

**Tabela 14 – Ensaio no estado endurecido**

<b>Ensaio</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>	<b>Objetivo</b>
Índice de vazios, absorção de água	%	NBR 9778 (2005)	Verificar a influência da CCA na demanda por água e no preenchimento de vazios
Permeabilidade (método do cachimbo)	cm	CSTC (1982)	Fazer a avaliação da conectividade dos poros e a resultante absorção ao considerar um revestimento argamassado exposto à ação de chuvas dirigidas
Microscopia Eletrônica de Varredura	-	-	Investigar qualitativamente a microestrutura, porosidade e ocorrência de fissuras
Resistência à compressão e à tração	MPa	NBR 13278 (1995)	Avaliar a evolução do ganho de resistência e o impacto da reação pozolânica
Retração restringida	min, cm, cm <sup>2</sup>	ASTM C1579	Avaliar a retração plástica para amostras em ambiente com incidência de ventos
Ensaio de ciclos de temperatura e umidade	cm	NBR 15575 (2013c)	Avaliar a retração por secagem em ambiente controlado e a formação de fissuras tardias

**Fonte: Autor (2021)**

### 3.2.2.1 Índice de vazios e absorção de água

O ensaio de determinação do índice de vazios e absorção de água das argamassas em estudo foi conduzido conforme preconiza a NBR 9778 (ABNT, 2006), obtidas conforme a tabela 15.

<b>Tabela 15 – Equações do índice de vazios e absorção por imersão</b>	
<b>Propriedade</b>	<b>Equação</b>
Índice de vazios (%)	$\left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i}\right) \cdot 100$
Absorção por imersão (%)	$\left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s}\right) \cdot 100$

**Fonte: NBR 9778 (2005)**

Onde:

- $M_{sat}$  = Massa do corpo-de-prova saturado;
- $M_s$  = Massa do corpo-de-prova seco em estufa;
- $M_i$  = Massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água.

Para a execução dos ensaios foram ensaiados três corpos de prova para cada traço, aos 28 dias.

### 3.2.2.2 Permeabilidade

A permeabilidade é uma propriedade relacionada com a passagem de água pela argamassa, pelo processo de percolação. O método do cachimbo consiste na fixação de um instrumento ao revestimento (Figura 14) para aferição quantidade de água absorvida, considerando uma pressão de 92 mm de coluna d'água, simulando a ação do vento sobre a fachada. Este dispositivo em questão possui formato em "L", semelhante a um cachimbo, tendo graduação em milímetros (CSTC, 1982 *apud* ALMEIDA DIAS E CARASEK, 2003).



**Figura 14 – Painéis de argamassa com cachimbo fixado**

**Fonte: Autor (2021)**

De maneira similar, a norma de desempenho NBR 15.575-4 (ABNT, 2013c), em seu anexo D, mede a permeabilidade por meio do acomplamento de uma bureta em parede de revestimento, sendo os níveis de água registrados após 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 6 h e 24 h.

O método do cachimbo mede a permeabilidade e absorção de água pelo revestimento, pela pressão exercida e pelo contato da água com a superfície. (ALMEIDA DIAS E CARASEK, 2003).

Para o ensaio foram montadas formas quadradas com dimensões internas de 20x20, sendo centralizado o ponto de contato do cachimbo com a amostra. A união do cachimbo com a amostra foi feita com massa de calafetar.

Após preenchimento do cachimbo com água até o nível inicial, inicia-se o ensaio com leituras da variação de água com paquímetro, em intervalos de 1 minuto, até a diferença de nível d'água atingir 4 cm ou atingir-se 15 minutos de ensaio, o que ocorrer antes. Foram analisadas amostras aos 28 dias.

### 3.2.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura é um ensaio que fornece imagens com fatores de ampliação altos e com alta resolução da superfície do material em análise. Para a realização deste ensaio foram extraídas pequenas amostras de corpos de

prova prismáticos, inicialmente imersos em solução de acetona para paralisar a hidratação (figura 15), passando em sequência pela bomba a vácuo e secagem em estufa até obter constância de massa.



**Figura 15: Amostras imersas em solução de acetona**

**Fonte: Autor (2021)**

A análise da MEV teve por objetivo a visualização da porosidade e fissuras das amostras, para amostras aos 28 dias de idade. Os ensaios foram realizados na Central de Análises da Universidade Tecnológica Federal do Paraná *campus* Pato Branco.

#### 3.2.2.4 Resistência à tração na flexão e à compressão

A capacidade de resistir aos esforços de tração, tanto de aderência quanto de flexão, é um requisito fundamental para argamassas de revestimento. Muitas vezes, a baixa resistência mecânica não permite ao revestimento suportar os esforços, provenientes de tensões de tração, compressão e cisalhamento, podendo levar à fissuração (CARASEK, 2010; SILVA, 2011).

Como forma de verificar o atendimento do requisito da norma de argamassas e o enquadramento na classe correspondente, a resistência à tração foi aferida para as idades de 7 e 28 dias, utilizando-se dos corpos de prova prismáticos, de medidas 4x4x16 cm, rompidos com auxílio de uma prensa hidráulica EMIC, com velocidade de carregamento de 5kgf/s, tomando como base a norma NBR 13279 (ABNT, 2005b).



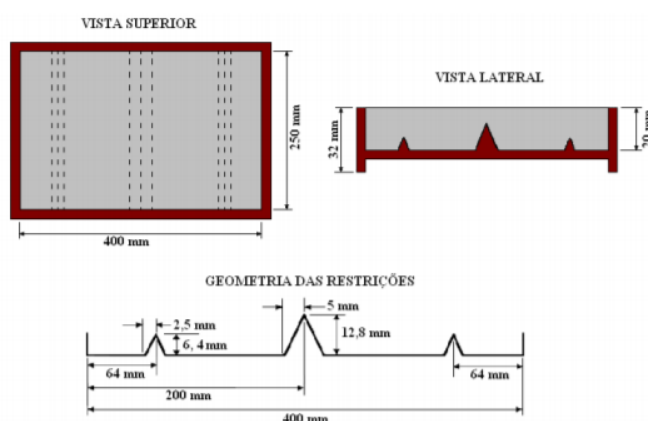
A resistência à compressão foi determinada para 7, 28 e 91 dias, para visualizar a evolução da reação pozolânica a longo prazo, rompidos na mesma prensa hidráulica e com a mesma velocidade de carregamento.

### 3.2.2.5 Retração restringida

Este ensaio simula a retração de uma amostra em um espaço confinado, similar ao que acontece em um revestimento de grandes dimensões. A incidência de vento sobre as amostras tem função de aumentar a perda de água do concreto por evaporação e, conseqüentemente, a fissuração por secagem.

A variação dimensional pode ser evidenciada pela retração por secagem que, como ocorre na retração plástica, dá-se pela perda de água para o ambiente, sendo mais evidente em argamassas com maiores teores de água (MANUEL, 2005).

O ensaio de fissuração restringida é adaptado da norma ASTM C1579 (2013), conforme observado em Silva *et al.* (2010). Os moldes, conforme ilustra a figura 16, possuem dimensões 250 x 400 x 20 mm, com três restrições à retração ao fundo, com o intuito de induzir à formação de fissuras. Os moldes foram produzidos com madeira e impermeabilizados com esmalte sintético para que não haja absorção de água pelas formas. As restrições foram produzidas por meio de impressão 3D, com grau de precisão 0,1 mm, feitas em filamento PETG.



**Figura 16: Molde utilizado para avaliação da retração restringida**

**Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2010)**

Os três moldes de cada traço foram introduzidos em uma câmara fechada de ensaio (figura 17), com um ventilador com velocidade constante para geração da corrente de ar. No patamar superior foram dispostas as amostras, as quais foram monitoradas com câmera fotográfica, a fim de registrar a incidência de fissuras.

Um ventilador foi utilizado para produzir ventos com velocidade em torno de 1,8 m/s na saída da câmara, sobre as amostras, sendo esta velocidade aferida com auxílio de um anemômetro marca. Com o intuito de acelerar a secagem e provocar a fissuração, o ensaio foi realizado por um período de 20 horas.

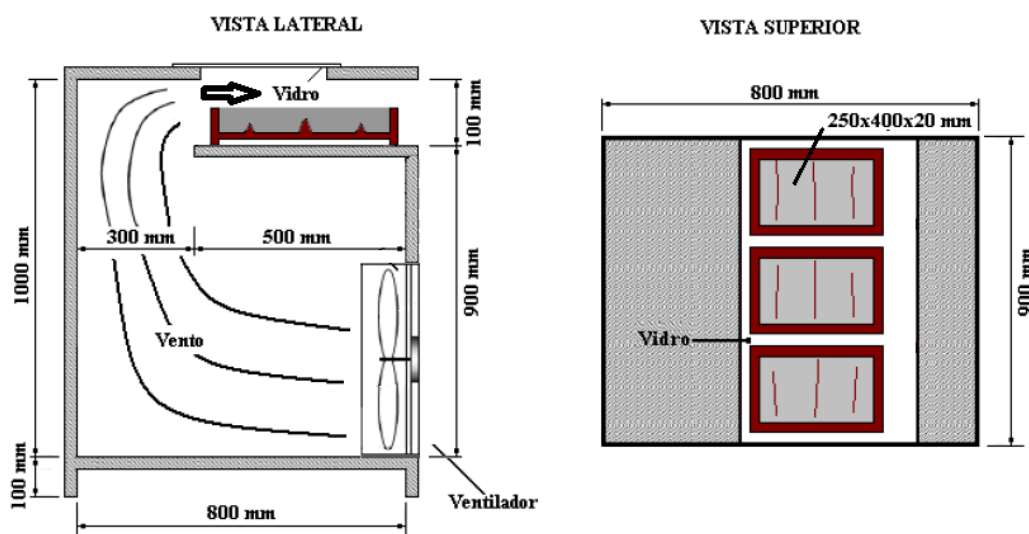
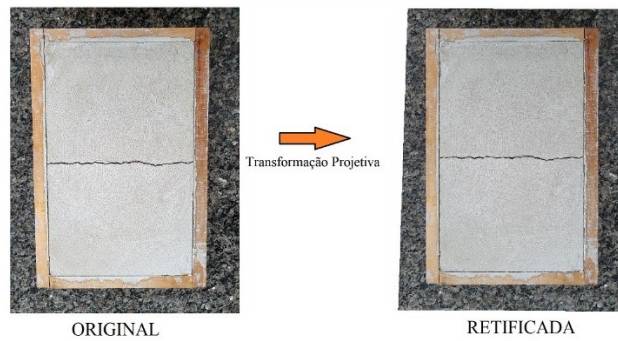


Figura 17: Estrutura de ensaio utilizada para avaliação da retração restringida

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2010)

Foram avaliados a largura média, comprimento e área total de fissuras ao final do ensaio com o uso de paquímetro. Após a obtenção das imagens, a aferição de medidas foi feita por meio da transformação projetiva de imagens e referenciamento por meio do *software* livre QGIS, e, posteriormente, as métricas delimitadas por aplicação de filtros e *shapefiles*. A norma americana prevê que as medições devem ter acurácia de 0,05 mm (item 5.10). A perda de água foi avaliada por meio de pesagem com balança no início e ao final do ensaio.

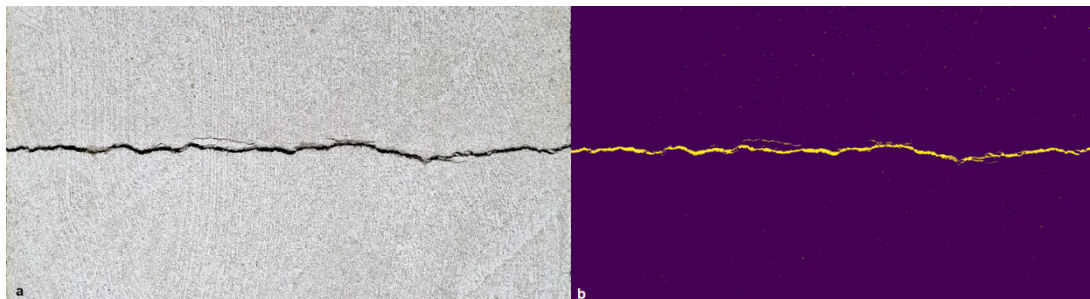
Para a obtenção dos dados dos ensaios, as imagens obtidas foram referenciadas a partir das dimensões da peça, por meio de transformação projetiva (Figura 18).



**Figura 18: Retificação de imagens para obtenção de medidas**

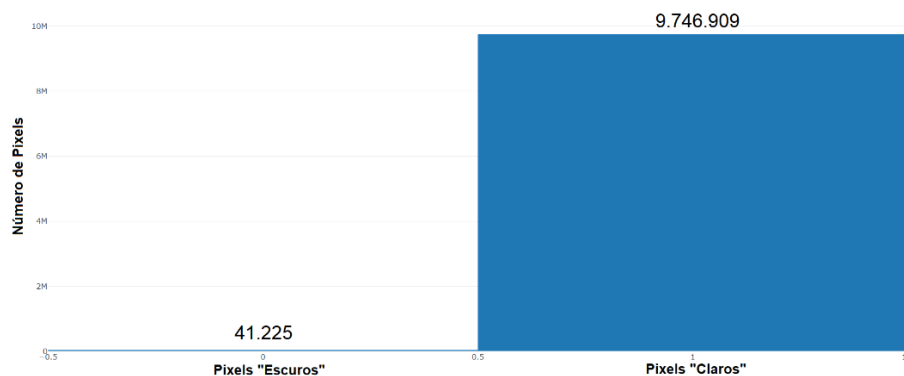
Fonte: Autor (2021)

Através da imagem retificada, procedeu-se à obtenção das informações métricas. Com auxílio do QGIS, foi criada uma máscara de entrada no *shapefile* para seleção apenas da peça de argamassa, para, em seguida, fazer a classificação por meio de cores (Figura 19 a, b) no espectro RGB, gerando um histograma de classes (Figura 20). Esse gráfico permite obter o percentual de pixels de cada classe que, multiplicado pela área, fornece o valor de área de fissuras e área de concreto da amostra.



**Figura 19 – Parte de imagem referenciada a) Original; b) Classificada**

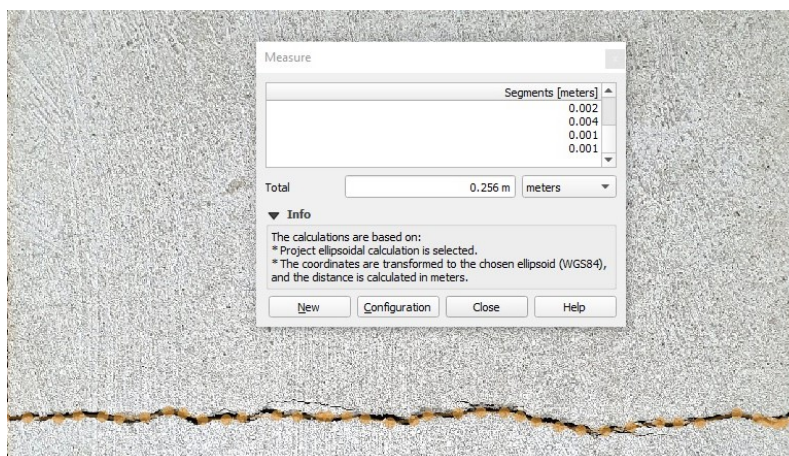
Fonte: Autor (2021)



**Figura 20: Histograma de frequências**

Fonte: Autor (2021)

A medida do comprimento das fissuras se deu por meio da criação de um *shapefile* em formato linha, com o ajustamento de diversos segmentos de reta dentro da imagem referenciada, formando o caminhamento da fissura, conforme figura 21.



**Figura 21: Obtenção do comprimento da fissura**

**Fonte: Autor (2021)**

Por fim, a medição da largura se deu em 10 segmentos medidos verticalmente. Seguindo recomendação da ASTM C1579 (2013), as medidas foram realizadas a um intervalor mínimo de 25 mm das bordas da forma (item 8.2). A equação de cálculo da taxa de redução de fissuras (*crack reduction ratio*) é dada a seguir:

$$CRR = \left[ 1 - \frac{\text{Largura média da fissura da amostra em análise}}{\text{Largura média da fissura da amostra controle}} \right] \times 100\%$$

**Fonte: Adaptado de ASTM C1579 (ASTM, 2013)**

### 3.2.2.6 Ensaio de ciclo de temperatura e umidade

Para este ensaio foi feita uma adaptação da norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013c), em seu E (comportamento de SVVE exposto à ação do calor e choque térmico). Como forma de reproduzir as mesmas condições para todos os traços, os ensaios foram realizados em estufa, com o revestimento sobre placas cimentícias. Foi proposta a confecção destas no intuito de simular a formação e propagação de

fissuras provenientes das variações de temperatura e umidade, como forma de representar o efeito das ações climáticas.

Buscando assemelhar a aplicação do revestimento em painéis, foi adotado o conjunto placa cimentícia, chapisco e emboço. A placa cimentícia (figura 22) possui dimensões 50x50 cm e espessura de 8 mm, tendo sido lavada e sua superfície seca a fim de remover eventuais óleos e/ou impurezas que pudessem vir a prejudicar a aderência do revestimento com o substrato.



**Figura 22: Placas cimentícias**

**Fonte: Autor (2021)**

A placa cimentícia recebeu então a argamassa colante do tipo AC-II, da marca Fortaleza Argamassas e Revestimentos. Para sua produção foram utilizados 4,20 litros de água potável para um saco de 20 kg, conforme recomendado pelo fabricante. Visando padronizar e proporcionar uniformidade entre os traços, todas as amostras receberam cordões de argamassa da mesma amassada (figura 23), no mesmo dia, sendo então colocadas na câmara por 7 dias. Esta foi aplicada com desempenadeira dentada, com ângulo de aproximadamente 30°, para criar aderência com o emboço a ser aplicado, objeto da pesquisa.



**Figura 23: Placas com cordões de argamassa**

**Fonte: Autor (2021)**

As placas foram separadas em grupos de três amostras cada. Com o auxílio de uma forma com dimensões internas coincidentes com a placa cimentícia e com a altura desejada composta pela altura total corresponde à base + revestimento, as argamassas em estudo foram lançadas, compactadas e acabadas, para, em seguida, serem dispostas na câmara até a data do ensaio.

Buscando investigar a hipótese de formação de fissuras tardias ou o prolongamento de microfissuras pré-existentes, salienta-se que as amostras foram concretadas e mantidas em câmara com condições ambientais que são classificadas pela norma ACI 308-92 (ACI, 1992) e por Thomaz (2003) como de baixo risco de fissuração (figura 24).

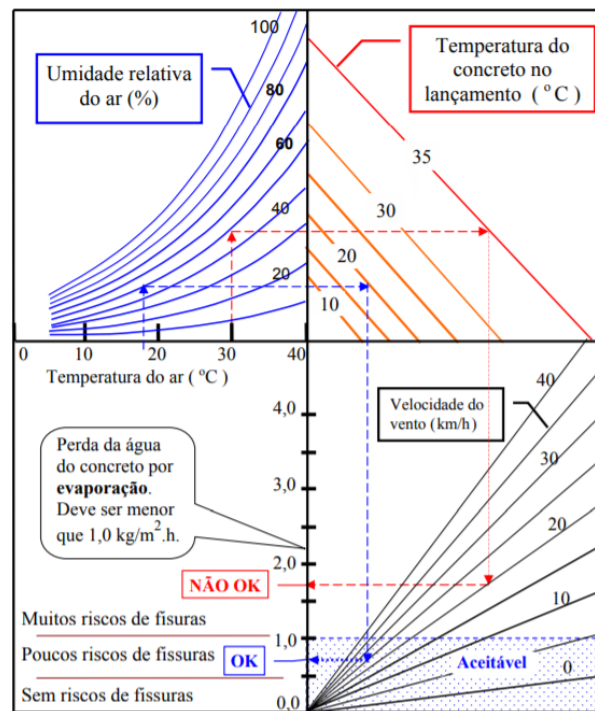


Figura 24: Condições ambientais e suscetibilidade à perda de água por evaporação

Fonte: ACI (1992) e Thomaz (2003)

O ciclo de temperatura e umidade consiste em, partindo da temperatura ambiente, expor a um aumento de calor, até que se atingisse a ordem de  $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$  sobre a superfície da amostra (ação do calor), momento em que estas foram resfriadas com água (choque térmico), até atingir  $(25 \pm 3) ^\circ\text{C}$ , momento em que a superfície é seca, completando um ciclo de variação. Para o aumento de temperatura as amostras foram colocadas em estufa a  $85 ^\circ\text{C}$ , e para o resfriamento foi utilizado um aspersor de água, para aspergir água em temperatura ambiente por toda a superfície. Tendo em vista que o tempo necessário que cada ciclo leva para ser completado (em média 90 minutos), as amostras foram resfriadas assim que a máxima prevista fosse atingida, não deixando-as em patamar de temperatura.

Foram avaliadas a incidência e abertura de fissuras das amostras por meio de registros fotográficos e aferições com paquímetro, com grau de precisão de 0,02 mm, de forma a investigar o desenvolvimento de fissuras e avaliar se houve a abertura de novas fissuras ou apenas o prolongamento das mesmas ao longo do ensaio acelerado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

#### 4.1.1 Determinação do traço e abatimento

A CCA é um material poroso com macro e mesoporos, com larga superfície específica, como apresentado na tabela 10. Ela acaba por absorver certa quantidade de água da mistura, reduzindo a quantidade de água livre e conseqüentemente o abatimento. Isso refletiu no desempenho das argamassas com cinza no abatimento, conforme tabela a seguir.

**Tabela 16 – Abatimento das argamassas**

Amostra	Abatimento (mm)	Média (mm)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (CV)
Ref.	240	235,00	5,00	2,13
	235			
	230			
CCA <sub>R</sub>	230	223,33	5,77	2,59
	220			
	220			
CCA <sub>M</sub>	220	213,33	5,773	2,71
	210			
	205			

Fonte: Autor (2021)

Verifica-se que o traço com cinza residual obteve um abatimento superior à com cinza moída, devido à sua menor superfície específica e tamanho de partículas. Estes resultados corroboram com a conclusão de Chindaprasirt *et al.* (2009) de que o aumento do tempo de moagem é diretamente proporcional à finura das partículas e ao aumento de demanda por água.

Para obter o mesmo *slump* da amostra padrão, os traços com cinza poderiam ter seu fator a/mc aumentado para suprir a água absorvida, ou então preverem a incorporação de aditivo plastificante na mistura. Considerando a primeira opção, o aumento de água no traço terminaria por aumentar a fissuração das argamassas, em



virtude do acréscimo de perda de água por evaporação nas primeiras idades. Ainda, ambas as alternativas terminariam por prejudicar a comparação entre os dois tipos de cinza nos demais testes. Apesar disso, procurou-se dimensionar a dosagem de aditivo superplastificante necessária para cumprir com o abatimento mínimo de 220 mm. Com a utilização do aditivo Tec-Flow 8000, da marca GCP Applied Technologies, foi possível atingir o espalhamento desejado com dosagem de 0,5% em massa.

Por outro lado, conforme esperado, a coloração das argamassas também sofreu alteração. Conforme observado na figura 25, o traço padrão de cimento possui tonalidade esbranquiçada, enquanto a amostra com substituição parcial por cinza residual apresenta cor cinza clara, devido à presença de grãos de carbono provenientes do processo da queima na usina. Já o traço com cinza moída apresenta tonalidade cinza escura, pelo fato de ter sido triturada e os grãos de carbono misturados com a amostra. Também se observou que a argamassa não apresentou tendência à exsudação.



**Figura 25: Índice de consistência das amostras (a) Ref; (b) CCA<sub>R</sub>; (c) CCA<sub>M</sub>**

**Fonte: Autor (2021)**

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

Os valores de densidade de massa, também denominado de massa específica, para o estado fresco, se encontram a seguir. Seus valores estão relacionados com o teor de ar e com a massa específica dos componentes da argamassa.

**Tabela 17 – Densidade de massa e teor de ar incorporado**

<b>Amostra</b>	<b>Densidade de massa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Classe – NBR 13821</b>	<b>Teor de ar incorporado (%)</b>
Ref.	1,97	D5	5,51
CCA <sub>R</sub>	1,83	D4	11,98
CCA <sub>M</sub>	1,90	D4	8,49

**Fonte: Autor (2021)**

O teor de ar incorporado superior pode provar ser benéfico quanto aos impactos na retração, uma vez que a incorporação de ar diminui as tensões superficiais, responsáveis pela formação de microfissuras, estas que são maiores à medida em que a taxa de evaporação é maior. Ainda, verifica-se que as argamassas estão enquadradas nas classes D5, D4 e D4, conforme a tabela 18.

**Tabela 18 – Densidade de massa no estado fresco – Classes e requisitos**

<b>Classe</b>	<b>Densidade de massa no estado fresco (g/cm<sup>3</sup>)</b>
D1	≤ 1,4
D2	1,2 a 1,6
D3	1,4 a 1,8
D4	1,6 a 2,0
D5	1,8 a 2,2
D6	> 2,0

**Fonte: Adaptado de NBR 13281 (ABNT, 2005)**

### 4.1.3 Retenção de água

As tabelas 19 e 20 a seguir mostram os resultados do ensaio de retenção de água e o enquadramento de cada classe previsto pela norma NBR 13281 (ABNT, 2005). Para a determinação da classificação na sobreposição entre as faixas, foi considerado o desvio-padrão dos ensaios. A cinza moída apresentou os maiores valores, sendo enquadrada na classe mais alta nesse quesito, tendo em vista suas partículas muito finas, proporcionando uma alta superfície específica, tendendo a manter a água adsorvida nessas partículas.

**Tabela 19 – Retenção de água**

<b>Amostra</b>	<b>Retenção de água (%)</b>	<b>Classe – NBR 13281</b>
Ref.	92	U4
CCA <sub>R</sub>	81	U2
CCA <sub>M</sub>	96	U6

**Fonte: Autor (2021)**

**Tabela 20 – Retenção de água – Classes e requisitos**

<b>Classe</b>	<b>Retenção de água (%)</b>
U1	≤ 78
U2	72 a 85
U3	80 a 90
U4	86 a 94
U5	91 a 97
U6	95 a 100

**Fonte: Adaptado de NBR 13281 (ABNT, 2005)**

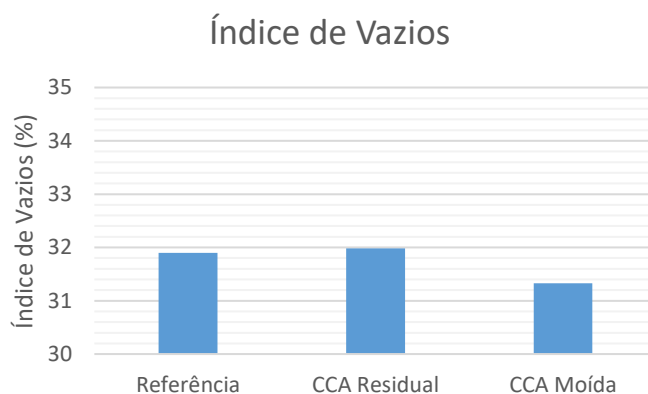
A incorporação de cinza residual à mistura resultou num decréscimo na retenção, porém ela ainda cumpriu com o requisito mínimo estabelecido pela norma,

que é de 78%. Essa redução significativa em relação às outras amostras pode prejudicar a aderência entre a argamassa e a base. No entanto, Sabbatini (1995) conclui que a capacidade de retenção de água pode estar atrelada ao desempenho na retração plástica, considerando que, se a água presente na argamassa for absorvida com muita rapidez, ocorrerá retração no material e consequente abertura de fissuras.

## 4.2. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

### 4.2.1 Índice de vazios e absorção de água

A figura 26 mostra os resultados de índice de vazios dos traços. Com relação à cinza residual, tendo em vista seu tamanho médio de partículas e sua porosidade, apresentou os maiores valores.

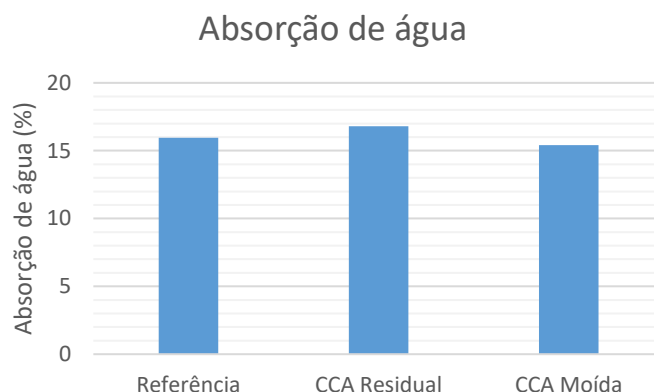


**Figura 26: Índice de vazios das amostras em estudo**

**Fonte: Autor (2021)**

Observa-se que os corpos de prova contendo cinza moída apresentaram melhores resultados em relação à referência, explicado pelo empacotamento de partículas que os finos proporcionam, resultando no menor índice de vazios. Tendo em vista o menor tamanho dos poros da argamassa, o gráfico de absorção por imersão (figura 27) também apresenta menores valores para a cinza moída.

Por sua vez, tendo em vista a maior porosidade da argamassa de cinza residual, esta obteve uma absorção superior às outras amostras.

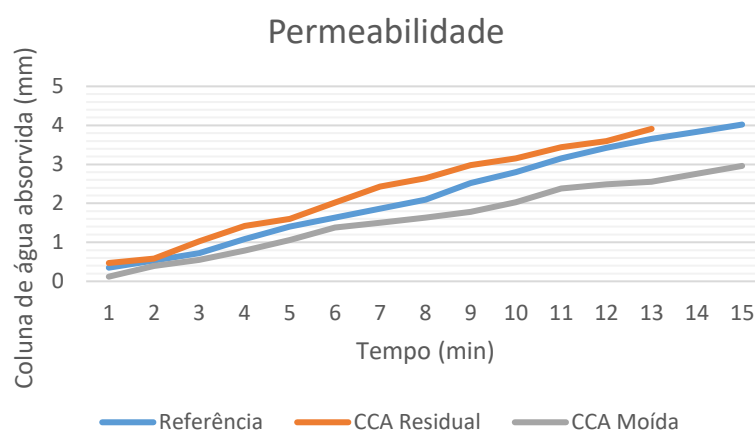


**Figura 27: Resultados de absorção de água por imersão das amostras em estudo**

**Fonte: Autor (2021)**

#### 4.2.2 Permeabilidade

Com relação à avaliação da permeabilidade pelo método do cachimbo, uma maior absorção de água se tornou mais evidente nas amostras contendo cinza sem moagem. Conforme exposto na figura 28, as amostras com cinza residual tiveram maior absorção inicial, sendo o único ensaio que finalizou por quantidade de água absorvida, antes dos 15 minutos.



**Figura 28: Permeabilidade de água para as amostras ensaiadas**

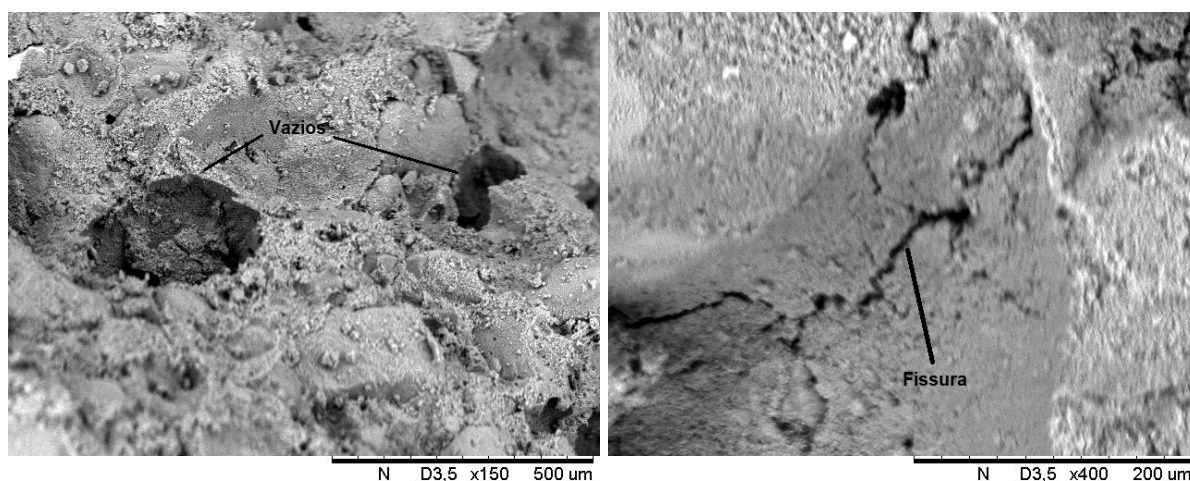
**Fonte: Autor (2021)**

Por outro lado, o uso de cinza moída potencializa esse parâmetro, uma vez que sua granulometria fina resulta em redução da porosidade inicial, e sua reação pozolânica característica reduz ainda mais a porosidade em médias idades, e por consequência, também a permeabilidade e absorção (ALCÂNTARA, DE MELLO E DE ALBUQUERQUE, 2018).

#### 4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O ensaio de microscopia permitiu analisar qualitativamente a existência de vazios e microfissuras, a partir de amostras extraídas dos ensaios de resistência aos 28 dias.

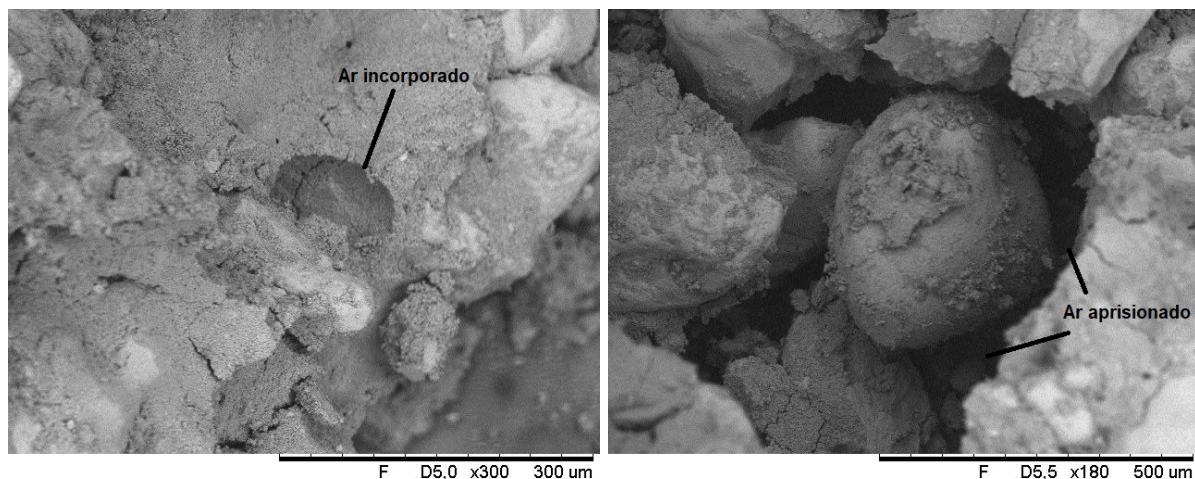
A figura 29 foi tirada com um fator de ampliação de 150 vezes, podendo se observar os vazios presentes na superfície da amostra referência. Verifica-se que, pela ausência de adição de finos, não há preenchimento dos poros do esqueleto granular, resultando em um maior tamanho de poros. Ainda, verificou-se a ocorrência de fissuras nesta amostra, possivelmente decorrente da retração por secagem, uma vez que estas não foram observadas no momento da desforma dos corpos de prova.



**Figura 29: Vazios e fissuras presentes na amostra referência**

Fonte: Autor (2021)

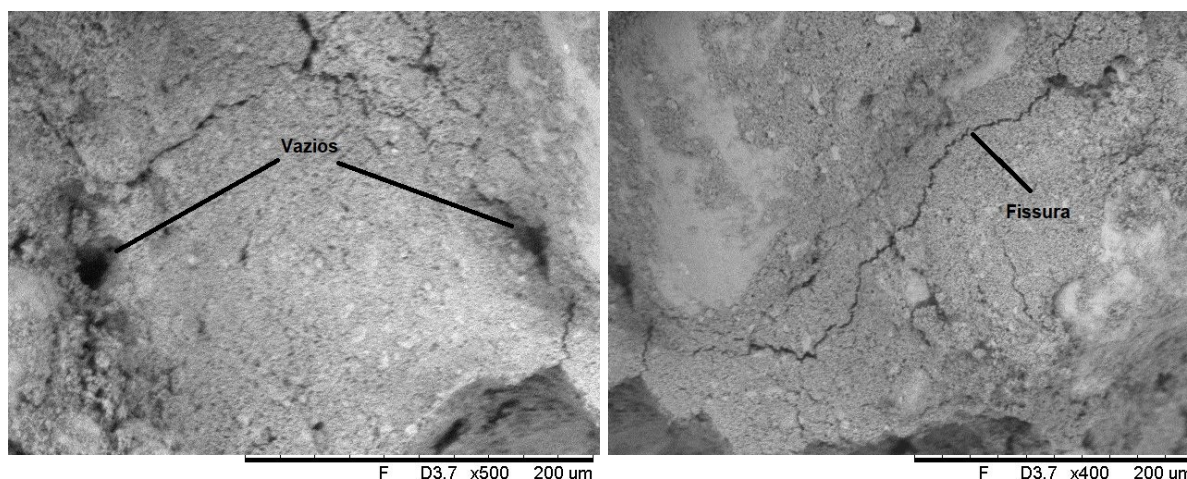
Por sua vez, também foram identificados vazios nas amostras com cinza residual, neste caso classificados como ar incorporado, com tamanho por volta de 120  $\mu\text{m}$ , assim como ar aprisionado, com aproximadamente 1500  $\mu\text{m}$  (Figura 30). Devido à forma porosa da cinza, associado ao tamanho médio de partículas superior ao do cimento, não houve refinamento de poros na mistura, mas o contrário. No entanto, não foram identificadas fissuras visíveis durante o ensaio.



**Figura 30: Vazios presentes na amostra de cinza residual**

**Fonte: Autor (2021)**

As amostras contendo cinza moída (figura 31) apresentaram o refinamento de poros esperado pelo fato de se tratar de uma adição de finos à mistura, fato que levou à identificação de vazios menores que 15  $\mu\text{m}$ . Também foram identificadas fissuras na amostra, porém, com larguras menores do que a referência.



**Figura 31: Vazios e fissuras presentes na amostra de cinza moída**

**Fonte: Autor (2021)**

A CCA moída proporcionou um refinamento dos poros pelo tamanho médio de partículas, preenchendo a porosidade deixada pelo esqueleto granular, implicando em um menor índice de vazios da amostra e uma amostra com menor tamanho de poros.

Ainda, ambas as cinzas contribuem por meio da reação pozolânica, que é mais evidente a médio e longo prazo, melhorando a ação ligante do cimento. Por outro lado, ao absorver água e atuar como agente de cura interna, a microestrutura de argamassas contendo adições minerais tendem a densificar sua microestrutura com a evolução da reação pozolânica.

Segundo Mohseni *et al.* (2016), os microporos com diâmetros menores que 50 nm tem influência na resistência à retração, enquanto os poros com diâmetro superior a 50 nm guardam relação direta com os parâmetros de resistência.

#### 4.2.4 Resistência à tração na flexão e à compressão

As tabelas 21 e 22 a seguir contém os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão para os casos em análise. A análise estatística demonstra que os dados obtidos são homogêneos, com baixa variação.



**Tabela 21 – Ensaios de resistência à compressão**

Idade	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (CV)
7 dias	Ref.	1,95	1,83	0,10	5,68
		1,75			
		1,80			
	CCAR	1,19	1,17	0,02	1,78
		1,15			
		1,16			
CCAM	1,25	1,26	0,05	4,06	
	1,22				
	1,32				
28 dias	Ref.	2,84	2,87	0,20	7,03
		2,69			
		3,09			
	CCAR	2,75	2,85	0,16	5,68
		2,77			
		3,04			
CCAM	2,95	3,00	0,08	2,79	
	2,96				
	3,10				
91 dias	Ref.	3,38	3,37	0,03	0,91
		3,34			
		3,40			
	CCAR	2,92	3,13	0,19	5,90
		3,23			
		3,25			
CCAM	3,98	3,67	0,27	7,31	
	3,56				
	3,48				

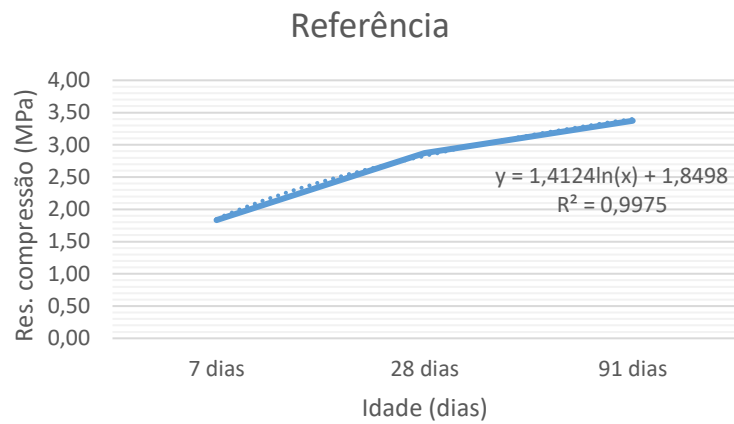
Fonte: Autor (2021)

**Tabela 22 – Ensaios de resistência à tração**

Idade	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (CV)
7 dias	Ref.	0,84	0,83	0,01	1,39
		0,84			
		0,82			
	CCAR	0,49	0,47	0,04	8,66
		0,42			
		0,49			
CCAM	0,66	0,65	0,02	2,66	
	0,63				
	0,66				
28 dias	Ref.	1,01	1,05	0,09	8,67
		0,98			
		1,15			
	CCAR	0,70	0,79	0,08	9,63
		0,82			
		0,84			
CCAM	0,98	0,94	0,03	3,72	
	0,94				
	0,91				

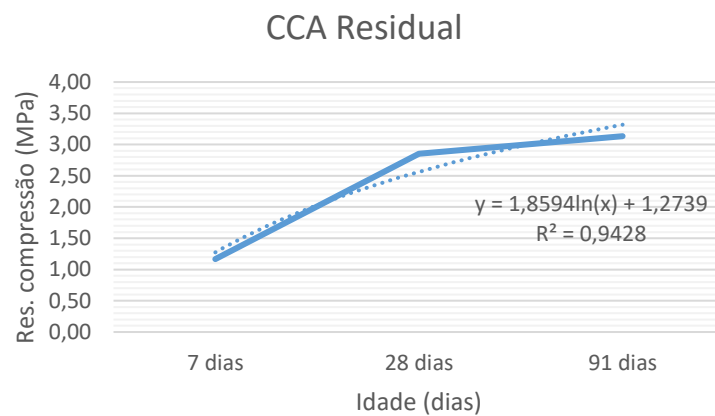
Fonte: Autor (2021)

As figuras 32, 33 e 34 a seguir ilustram a evolução da resistência à compressão com o tempo de cura. Foram ajustadas equações logarítmicas para se ter um parâmetro dessa evolução.



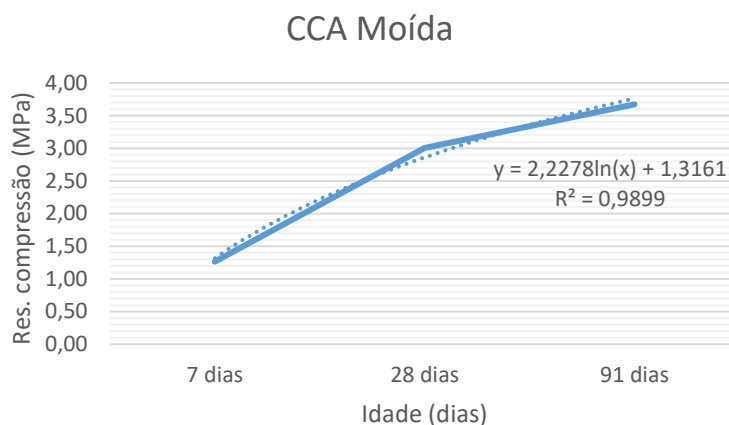
**Figura 32: Gráfico de evolução de resistência à compressão para a amostra referência**

**Fonte: Autor (2021)**



**Figura 33: Gráfico de evolução de resistência à compressão para a amostra de cinza residual**

**Fonte: Autor (2021)**



**Figura 34: Gráfico de evolução de resistência à compressão para a amostra de cinza moída**

**Fonte: Autor (2021)**

Verificou-se no ensaio de compressão que aos 7 dias o traço referência possuiu uma resistência inicial maior, tendo em vista que a reação pozolânica das cinzas é lenta e gradual, impactando a médio e longo prazo (MEIRA, 2009). Aos 28 dias é possível afirmar que houve empate técnico entre as três, quando levado em conta a média  $\pm 1$  D.P.

A água absorvida pela CCA, em virtude de sua porosidade, resulta em um maior teor de umidade dentro da amostra por mais tempo, ocasionando o retardo do processo de hidratação das amostras (MASSAZZA, 1998).

Levando em consideração os outros resultados e o ensaio à tração na flexão, verificou-se que a cinza moída apresenta resistências superiores do que à cinza residual, tendo em vista sua maior finura, reduzindo o tamanho de poros e tornando a matriz mais densa.

#### 4.2.5 Retração restringida

Para a realização deste teste foi necessário a construção do equipamento de ensaio, buscando replicar as mesmas condições de ensaio prevista na norma americana e observadas em Silva *et al.* (2010). Tendo sido fixada a corrente de vento em 1,8 m/s, para se equiparar a esta última referência citada, foi necessário fazer

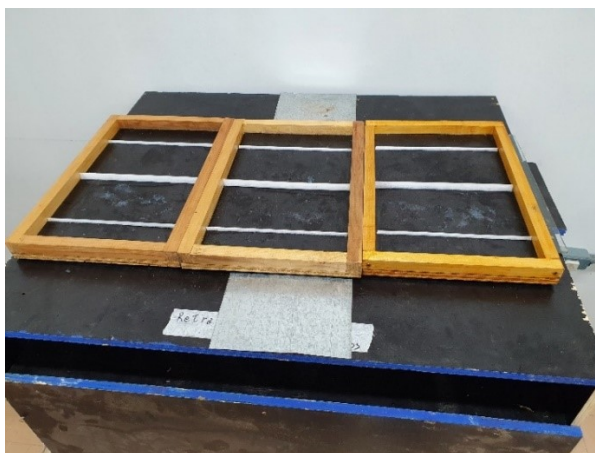
adaptações para que o ventilador empregado produzisse essa velocidade de ar na saída do patamar superior, sendo então reduzida a altura desse patamar. A seguir tem-se uma imagem do equipamento de ensaio para ilustrar estas adaptações.



**Figura 35: Equipamento de ensaio de retração restringida**

**Fonte: Autor (2021)**

Conforme exposto na figura 24, a produção de concretos e argamassas em condições ambientais que envolvam a incidência de ventos torna-se mais propensa a perda de água por evaporação. Por outro lado, os moldes continham três restrições igualmente espaçadas entre si (figura 36), sendo a central maior e mais tendente a ocasionar fissuras.



**Figura 36: Moldes utilizados para o ensaio**

**Fonte: Autor (2021)**

O somatório dessas duas condições de ensaio tornou por ocasionar fissuras em todas as amostras testadas, como pode se observar na tabela 23. Comparando as médias obtidas entre as amostras, verificou-se que a CCA<sub>R</sub> obteve os melhores desempenhos frente às fissuras plásticas, com área de fissuras 40% menor com relação à amostra referência e 79% menor sobre a cinza moída.

O comprimento das fissuras apresentou menor comprimento para a referência, seguido da CCA<sub>R</sub> (5% a mais), e CCA<sub>M</sub> com 88% a mais, tendo em vista que esta última apresentou fissuras inclusive nas restrições secundárias, indicando maior suscetibilidade à fissuração.

**Tabela 23 – Informações métricas do ensaio de retração restringida**

Parâmetro	Amostra	Medida	Média	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (CV)
Área de fissuras (cm <sup>2</sup> )	Ref.	2,97	2,41	0,51	21,03
		2,26			
		1,99			
	CCA <sub>R</sub>	1,57	1,43	0,20	13,61
		1,21			
		1,52			
CCA <sub>M</sub>	6,25	6,90	0,69	10,06	
	7,63				
	6,81				
Comprimento de fissuras (cm)	Ref.	25,99	26,35	0,467	1,77
		26,19			
		26,88			
	CCA <sub>R</sub>	27,41	27,71	0,466	1,68
		28,25			
		27,48			
CCA <sub>M</sub>	36,41	49,46	13,04	26,36	
	49,48				
	62,49				
Largura média* (cm)	Ref.	0,146	1,14	0,29	25,73
		0,109			
		0,088			
	CCA <sub>R</sub>	0,065	0,60	0,04	7,25
		0,057			
		0,058			
CCA <sub>M</sub>	0,171	1,29	0,38	29,38	
	0,098				
	0,119				

**Fonte: Autor (2021)**

\*Para efeitos de comparação para o cálculo da largura média foi considerada apenas a restrição central da argamassa.

A largura média, considerando apenas a restrição principal, foi menor para a cinza residual, seguido da referência (90% maior) e da  $CCA_M$  (115% maior). Adotando a equação da taxa de fissuras da ASTM C1579 (ASTM, 2013), obtém-se 47,37% para a  $CCA_R$  e -13,16% para a  $CCA_M$ , validando o uso de cinza residual para mitigação da retração plástica, e não recomendando o uso da cinza moída, visto que esta apresentou índices maiores em relação à amostra padrão.

A interpretação dos resultados leva à conclusão de que o desempenho da cinza residual frente à cinza moída está associado ao tamanho médio de partículas, tendo um impacto significativo na retração plástica. Verifica-se pela tabela 9 que a partícula de cinza moída por 2 horas é 4 vezes menor que a cinza sem moagem. A redução no tamanho pode ter aumentado a intensidade da reação pozolânica e o refinamento de poros, fatos associados à maior retração em concretos e argamassas (MEHTA E MONTEIRO, 2008; HABEEB E FAYYADH, 2009; RAO, 2001).

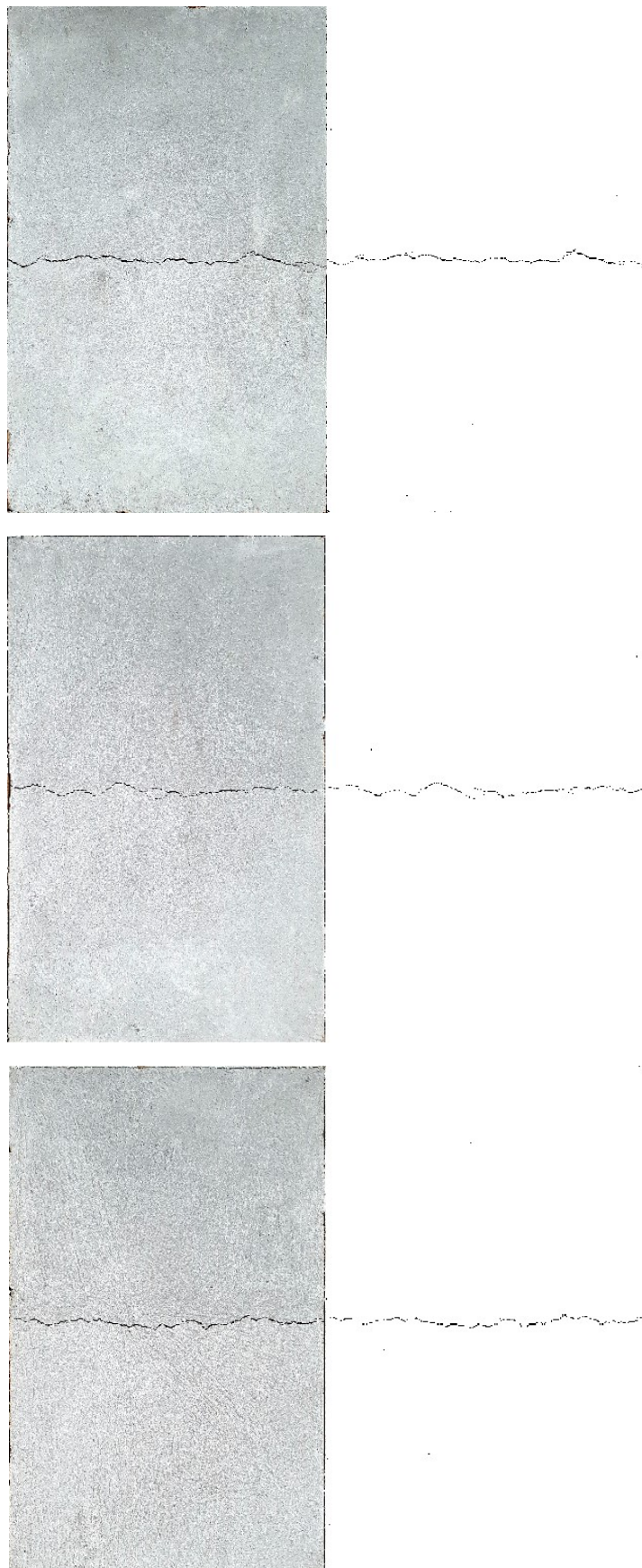
Em outro estudo, Beushausen e Arito (2018) descrevem que a utilização dos parâmetros de resistência como um indicador para o desempenho contra fissuras em materiais sujeitos à retração restringida deve ser evitada. Os autores constataram que concretos e argamassas com menores resistências apresentaram melhores desempenhos contra a fissuração em comparação com amostras com o mesmo traço de agregado e resistências superiores.

As fotos retificadas e classificadas das amostras após o ensaio estão disponíveis a seguir, todas na mesma escala, para efeitos de comparação da abertura, comprimento e largura média de fissuras.



**Figuras 37, 38 e 39: Retração restringida nas argamassas referência**

**Fonte: Autor (2021)**



**Figuras 40, 41 e 42: Retração restringida nas argamassas com cinza residual**

**Fonte: Autor (2021)**





**Figuras 43, 44 e 45: Retração restringida nas argamassas com cinza moída**

**Fonte: Autor (2021)**

#### 4.2.6 Ensaio de ciclos de temperatura e umidade

O ensaio acelerado de ciclos objetivou avaliar as fissuras que poderiam aparecer durante sua vida útil, em decorrência das variações de temperatura e umidade a que esse está sujeito. Para isso, todas as moldagens ocorreram no mesmo dia para todas as amostras, assim como a cura se deu em câmara com condições ambientais que dificultassem a perda de água por evaporação (figura 24). Ainda assim, a formação de fissuras aconteceu para a maior parte das amostras, como demarcado em vermelho nas figuras a seguir. Em azul, as observadas após os ciclos.



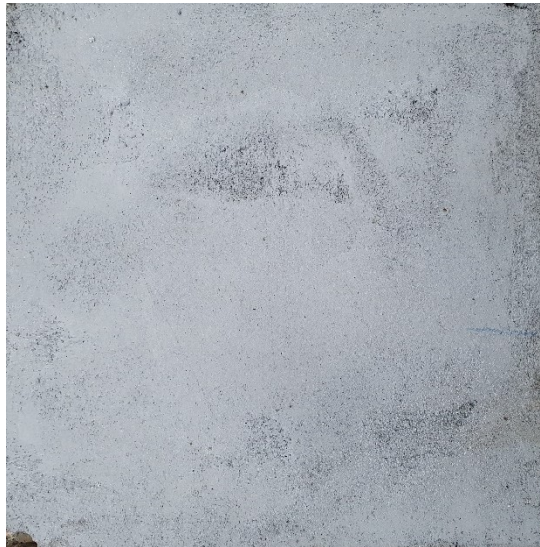
**Figuras 46 e 47: Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas referência**

**Fonte: Autor (2021)**



**Figuras 48, 49 e 50: Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas com cinza residual**

**Fonte: Autor (2021)**



**Figuras 51, 52 e 53: Retração após o ensaio de ciclos nas argamassas com cinza moída**

**Fonte: Autor (2021)**

Como pôde-se verificar, após os 10 ciclos previstos em norma a fissuração decorrente dessas variações foi muito baixa, sendo apenas constatadas prolongamentos de fissuras existentes ou a introdução de novas, localizadas. Também não se notou uma variação na largura destas. O resumo do comprimento das fissuras se encontra a seguir. Esse comportamento pode indicar que a formação de fissuras dos revestimentos se dá nas primeiras idades, quando há a tendência de perda de água por evaporação, enquanto a médio e longo prazo a água da mistura já foi utilizada para o processo de hidratação, sendo a água proveniente da umidade e de chuvas dirigidas menos eficaz na percolação e formação de fissuras.

**Tabela 24 – Extensão de fissuras após o ensaio de ciclos**

<b>Amostra</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Média (cm)</b>
Ref.	73,7	67,05
	60,4	
CCA <sub>R</sub>	5,1	1,70
	-	
	-	
CCA <sub>M</sub>	6,6	11,73
	14,6	
	14,0	

**Fonte: Autor (2021)**

Uma vez que o fator  $a/mc$  foi mantido para a dosagem de todas as amostras e que estas foram expostas às mesmas condições ambientais, fatores determinantes para a retração por secagem, a substituição parcial do cimento por CCA se provou eficaz, uma vez que os resultados contendo este material se provaram melhores do que a referência. Essa substituição pode ter diminuído o calor de hidratação da mistura, o que acabou por reduzir a retração por secagem, em virtude do menor gradiente térmico entre a mistura e o ambiente.

A menor retração das amostras sem o beneficiamento pode ainda se explicar pelo tamanho médio de partículas superior à amostra com cinza moída, conforme visto em Habeeb e Fayyadh (2009). A estrutura porosa da CCA residual pode ter agido como um agente de cura interno, por armazenar mais água da mistura (Tran *et al*, 2021).

Como observado em sua revisão do estado da arte do uso de cinza em concretos, Siddika *et al.* (2021) afirmam que concretos com materiais cimentícios suplementares geralmente apresentam deformações por carga constante e maiores valores de retração por secagem. No entanto, poros maiores podem reter mais temperatura e reduzir a taxa de transferência de calor, assim reduzindo a retração, fato que não acontece em poros mais finos. Dessa forma, segundo os autores esse comportamento depende também dos vazios com e sem água e a característica dos ingredientes. Tendo em vista que o comportamento do deste estudo foi similar, acredita-se que essa explicação seja aplicável para as argamassas analisadas.

Por outro lado, Wang *et al.* (2021) concluem que a água absorvida pela CCA é dispensada ao longo do tempo, reduzindo a pressão capilar, e conseqüentemente reduzindo a retração da matriz de cimento. Logo, estes afirmam que o efeito de cura interna que a cinza possui melhora significativamente a resistência à fissuração.

#### 4.3 ANÁLISE GERAL DOS ENSAIOS

A escolha dos ensaios teve o intuito de investigar o efeito da cinza de casca de arroz com e sem o beneficiamento por moagem, em substituição parcial do cimento Portland, investigando parâmetros do estado fresco e endurecido, o atendimento de requisitos básicos de norma e a análise de desempenho quanto à retração, com vistas à aplicação em argamassas de revestimento.

Após o desenvolvimento da pesquisa, conseguimos obter uma argamassa com reduzido índice de fissuras, a partir de um traço usual de argamassa de revestimento, com a adição de um subproduto agrícola/industrial (CCA). A execução dos ensaios, interpretação dos resultados e análise estatística permitiu concluir que há viabilidade para aplicação de CCA em argamassas de revestimento, de forma que misturas contendo 15% de substituição ao cimento atendem aos requisitos ensaiados da norma NBR 13281 (ABNT, 2005c), considerando tanto a cinza residual como a moída.

Ainda, o impacto do uso de cada tipo de cinza em relação à argamassa referência pode ser verificado de forma resumida na tabela a seguir. Os resultados

que ficaram dentro da margem da média  $\pm 1$  D. P. foram considerados comparáveis, assim como os que tiveram diferenças dentro do intervalo de 5%.

**Tabela 25: Impacto do uso das cinzas residual e moída em argamassas de revestimento**

<b>Propriedades</b>	<b>CCA<sub>R</sub></b>	<b>CCA<sub>M</sub></b>
Índice de consistência	Redução	Redução
Densidade de massa	Redução	Redução
Teor de ar incorporado	Aumento	Aumento
Retenção de água	Redução	Aumento
Índice de vazios	Aumento/ Comparável	Redução
Absorção de água	Aumento	Redução
Permeabilidade	Aumento	Redução
Resistência à compressão (28 dias)	Comparável	Aumento
Resistência à tração na flexão (28 dias)	Redução	Comparável
Retração restringida	Redução	Aumento
Retração por movimentos higrotérmicos	Redução	Redução

**Fonte: Autor (2021)**

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da pesquisa teve por objetivo central avaliar o uso de cinza de casca de arroz no controle de fissuras decorrentes da retração plástica, por secagem e movimentações higrotérmicas em argamassas de revestimento. Para a realização, foram realizados os ensaios de determinação do traço, índice de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado, retenção de água, índice de vazios, absorção de água, permeabilidade, microscopia eletrônica de varredura, resistência à tração na flexão e à compressão, retração restringida e ensaio de ciclos de temperatura e umidade.

A interação das cinzas de casca de arroz residual e moída com a matriz cimentícia apresentaram resultados diferentes no que se refere ao impacto de cada uma nas propriedades da argamassa de revestimento. Tendo em vista as especificidades discutidas no capítulo anterior e levando em consideração seus resultados em relação à referência, a cinza residual apresentou menor abatimento, porém dentro da faixa aceitável para argamassas de revestimento, redução na massa específica e aumento no teor de ar incorporado, menor retenção de água, índice de vazios superior, maior permeabilidade e diâmetro de vazios em sua microestrutura, assim como resistências comparáveis a partir dos 28 dias, apresentando o menor índice de fissuras no ensaio de ciclos, com redução de aproximadamente 97,5% em relação à referência e no ensaio de retração restringida, com uma área de fissuras 40% menor, se configurando como o traço que obteve melhores resultados contra a retração, e justificando a escolha da mesma para revestimentos.

A utilização de cinza moída nas argamassas de revestimento pesquisadas apresentou abatimento inferior ao necessário para uso com esta finalidade, demandando por aditivos plastificantes para obter o índice de consistência necessário. Obteve densidade de massa, índice de vazios, absorção de água, permeabilidade, diâmetro de vazios e resistências iniciais inferiores em relação à referência, enquanto apresentou teor de ar incorporado, retenção e resistências à médio e longo prazo superiores. Referente aos parâmetros de retração, constatou-se um maior volume de fissuras no teste da retração plástica, com uma abertura e



incidência por volta de três vezes maior do que a argamassa sem a adição. Porém, observou-se uma menor incidência de fissuras no ensaio de ciclos.

A formação das fissuras ocasionadas pela retração plástica e por secagem se deram principalmente pela perda de água por evaporação, enquanto as constatações do ensaio de ciclos apresentaram um baixo índice de formação de novas fissuras, e sim a propagação das existentes nas primeiras idades. Tendo em vista esse desempenho e levando em conta que os parâmetros de resistência, apesar de levemente reduzidos, ainda atendem à norma de argamassas, recomenda-se a utilização desta para ambientes externos para fachadas em contato direto com o meio ambiente, por sua capacidade de atenuar a fissuração do revestimento e de reduzir a chance de entrada de agentes deletérios na estrutura, assim como ter custo inferior para incorporação deste produto na dosagem, e ainda ser um componente reaproveitado de outros processos produtivos, aliado ao fato de que esta não precisa passar por processos de beneficiamento para ser utilizada. Por outro lado, a cinza moída apresentou maiores valores de retração plástica, ficando seu uso externo mais indicado para argamassas de assentamento para acabamentos, como cerâmicas, pastilhas, etc.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a execução dos testes de retração considerando o chapisco convencional e o desempenado, de forma a verificar a aderência entre as camadas e a ocorrência de deslocamentos, assim como a realização de testes por períodos maiores, de forma a avaliar o impacto na durabilidade.

## REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M. A. M.; MELLO, A. B. A.; ALBUQUERQUE, M. C. F. **A influência potencial das cinzas de casca de arroz em argamassas auto adensáveis: casos da resistência mecânica e da absorção d'água.** In: Revista Matéria, v.23 n. 3. Rio de Janeiro, 2018.

ALMEIDA DIAS, I.; CARASEK, H. **Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, São Paulo, 2003. Anais... São Paulo, EPUSP/ANTAC, 2003. p. 519-531.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **ACI 308-92** – Standard practice for curing concrete. Farmington Hills, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia Básico de utilização do cimento Portland.** Boletim Técnico 106. 7 ed. São Paulo, 2002a.

\_\_\_\_\_. **Manual de revestimentos de argamassa.** 1. ed. São Paulo, 2002b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751** – Materiais Pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica – Índice de atividade pozolânica com cal. Rio de Janeiro, 1992.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 9575** – Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005c.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho – Partes 1 a 6. Rio de Janeiro, 2013c.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697**: Cimento Portland – requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

AOKI, J. **Retração – Redução de Efeito e Compensação**. Disponível em: [www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/retracao-reducao-de-efeito-e-compensacao/](http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/retracao-reducao-de-efeito-e-compensacao/) Acesso em: 11 de julho de 2020.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1579**: Standard test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced concrete (using a steel form insert). Philadelphia, 2013.

BASTOS, P.; NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. “**Comparação da retração de argamassas industrializadas e mistas de revestimento nos estados fresco e endurecido**”. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 2005.

BEUSHAUSEN, H.; ARITO, P. **The influence of mix composition, w/b ratio and curing on restrained shrinkage cracking of cementitious mortars**. Construction and Building Materials, v. 174, p. 38-46, 2018.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. **Aplicação da cinza de casca de arroz em argamassas de assentamento**. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 6, p. 639-645. Campina Grande, 2011.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC / ANTAC, 2001.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. p. 893-941. São Paulo: IBRACON, 2010.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SANTOS, M. S. J.; LEMES, N. **Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa**. Revista ALCONPAT, v. 1, n. 2, p. 115-135. 2011.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC). **Hydrofuges de surface: choix et mise en oeuvre**. Bruxelles, 1982. 24p. (Note D'Information Technique - NIT n. 140).

CHINDAPRASIRT, P.; HOMWUTTIWONG, S.; SIRIVIVATNANON, V. **Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar**. Cement and concrete research, v. 34, p. 1087-1092, 2004.

CHINDAPRASIRT, P.; JATURAPITAKKUL, C.; RATTANASAK, U. **Influence of fineness of rice husk ash and additives on the properties of lightweight aggregate**. Fuel, v. 88, p. 158-162, 2009.

CHRISTOPHER, F.; BOLATITO, A.; AHMED, S. **Structure and properties of mortar and concrete with rice husk ash as partial replacement of ordinary Portland cement – A review**. International Journal of Sustainable Built Environment, v. 6, n. 2, p. 675-692, 2017.

CORSINI, R. **Trinca ou fissura?**. São Paulo: Técnica. 160, p., jul. de 2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/160/trinca-ou-fissura-como-se-originam-quais-os-tipos-285488-1.aspx>>. Acesso em 15 de maio de 2020.

DA COSTA, F. B. P.; RIGHI, D. P.; GRAEFF, A. G.; DA SILVA FILHO, L. C. P. **Experimental study of some durability properties of ECC with a more environmentally sustainable rice husk ash and high tenacity polypropylene fibers**. Construction and Building Materials, v. 213, p. 505-513, 2019.

ERHART, R. L. **Influência do chapisco com cinza de casca de arroz na aderência de argamassa em substratos cerâmicos com diferentes porosidades**. 203 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2014.

FERREIRA, B. B. D. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

FREITAS, H. T. de A. **Avaliação do potencial da utilização da cinza de casca de arroz para mitigação de eflorescências em argamassas de revestimento**. 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido. Mossoró, 2018.

GASTALDINI, A. L. G.; DA SILVA, M. P.; ZAMBERLAN, F. B.; MOSTARDEIRO NETO, C. Z. **Total shrinkage, chloride penetration and compressive strength of concretes that contain clear-colored rice husk ash**. Construction and Building Materials, v. 54, p. 369-377, 2014.

HABEEB, G. A.; FAYYADH, M. M. **Rice Husk Ash Concrete: the Effect of RHA Average Particle Size on Mechanical Properties and Drying Shrinkage**. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, v. 3, n.3, p 1616-1622, 2009.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; MEIRA, L.; DUART, M.; ZERBINO, R. **Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura**. Ambiente Construído, v. 10, n. 1, p. 121-137, 2010.

ISAIA G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Capítulo 26: Argamassas. São Paulo: Ibracon, 2007.

ITIM, A.; EZZIANE, H.; KADRI, E.H. **Compressive strength and shrinkage of mortar containing various amounts of mineral additions**. Construction and Building Materials, v. 25, p. 3603-3609, 2011.

JOHN, V. M. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, p.47-62.

JORNE, F. J. F. **Análise do comportamento higrotérmico de soluções construtivas de paredes em regime variável**. 2010. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2010.

KIELING, A; Caetano, M. O; KULAKOSWKI, M. P; KAZMIERCZAK, C. de S. **Influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento**. In: Estudos Tecnológicos, v. 5, n. 2; p. 157-170. São Leopoldo, 2009.

LEAL, F. E. C. B. **Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de preparação de base em sistemas de revestimento**. 2003. 109 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília. Brasília, 2003.

LIU, J.; SHI, C.; MA, X.; KHAYAT, L. H.; ZHANG, J.; WANG, D. **An overview on the effect of internal curing on shrinkage of high performance cement-based materials**. Construction and Building Materials, v. 146, p. 702-712, 2017.

LORDSLEEM JR., A. C. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação**. 1997. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

MAGALHÃES, E. R. **Fissuras em alvenarias: configurações típicas e levantamento de incidências no estado do Rio Grande do Sul**. 2004. 180 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

MANUEL, P. J. M. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos auto-adensáveis**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

MASSAZZA, F. **Pozzolana and pozzolanic cements**. In: Hewlett, P.C. (ed.), *Lea's chemistry of cement and concrete*, 4 ed., London: Arnold Publishers, p.485-500, 1998.

MEDEIROS, M. H. F.; BATISTA, G. D. M.; RUFATO, L. T.; MIRANDA, D. C. **Análise do índice de chuva dirigida em cidades do Paraná e sua importância no projeto de fachadas de edifícios**. *Revista Técnico-científica do CREA-PR*, v. 23, p. 1-16, 2017.

MEIRA, L. R. **Propriedades mecânicas e retração do concreto com adição de cinza de casca de arroz natural, sem beneficiamento de moagem**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

MEHTA, P. K. **Rice Husk Ash - a unique supplementary cementing material**. In: MALHOTRA, V. M. (ed.) *Advances in concrete technology*, Ottawa, Energy Mines and Resources, p. 407-432, 1992.

MEHTA, P. K.; PITT, N. A. **A new process of rice husk utilization**. In: *International Conference on the Utilization of Rice by-products*. Valencia, 1974. *Proceedings Valencia IATA*, p. 45-58, 1977.

MEHTA, P., K.; MONTEIRO, P., J., M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENNA JUNIOR, D. **Avaliação físico química de cimentos tipo cimento Portland produzidos no Brasil, através da técnica de Fluorescência de Raios-X e Resistência Mecânica**. 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais) – Universidade de Sorocaba. Sorocaba, 2016.

MOHSENI, E.; KHOTBEHSARA, M. M.; NASERI, F.; MONAZAMI, M.; SARKER, P. **Polypropylene fiber reinforced cement mortars containing rice husk ash and nano-alumina**. *Construction and Building Materials*, p. 429-439, 2016.

MUTHUKRISHNAN, S.; GUPTA, S.; KUA, H. W. **Application of rice husk biochar and thermally treated low silica rice husk ash to improve physical properties of cement mortar**. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, v. 104, 2019.

NUNES, N. L.; FIGUEIREDO, A. D. de. **Retração do concreto de cimento Portland**. *Boletim Técnico*. Universidade de São Paulo. São Paulo, n. 452, 59 p, 2007.

OLIVO, P. **Estudo da influência da temperatura de queima da casca de arroz no desempenho da argamassa de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

RAO, G. A. **Long-term drying shrinkage mortar – influence of silica fume and size of fine aggregate**. Cement and concrete research, v. 31, p. 171-175, 2001.

RÊGO, J.H.S. **As cinzas de casca de arroz amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento - aspectos da microestrutura das pastas**. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

RIBEIRO MAIA, L. **Propriedades mecânicas e retração do concreto com adição de cinza de casca de arroz natural, sem beneficiamento de moagem**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

RIBEIRO, E; VOLKWEIS, F. **Patologias em fachadas externas devido a movimentações higrotérmicas**. Revista Científica Tecnológica, v. 5, n. 2. Chapecó, 2016.

RIZWAN, S.A.; BIER, T.A. **Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars**. Construction and Building Materials, v. 27, p. 398-403, 2012.

ROMAN, H. R.; PARIZOTTO FILHO, S. **Manual de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos**. Disponível em: [docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construção-civil-ii-1/manual-de-alvenaria-estrutural](http://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construção-civil-ii-1/manual-de-alvenaria-estrutural). Acesso em: 13 de junho de 2020.

SABBATINI, F. H. **As fissuras com origem na interação vedação-estrutura**. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais, 1. São Paulo, 1998. Anais. São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. 1997. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.



SELMO, S. M. S. **Propriedades e especificações de argamassas industrializadas de múltiplo uso**. Boletim Técnico. Universidade de São Paulo. São Paulo, n. 310, 27 p., 2002.

SHAABAN, M. **Properties of concrete with binary binder system of calcined dolomite powder and rice husk ash**. Helyon, v. 7, i. 2, 2021.

SILVA, E. J. **Contribuição para utilização de cinzas de casca de arroz na construção civil**, Dissertação (Mestrado em Engenharia). FEIS/UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil, 2009.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**, Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia**. Revista Ambiente Construído, v. 8, n. 4, p. 21-35, 2008.

SILVA, N. G.; SILVA, G. G.; GLEIZE, P. J. P. **Fissuração em revestimento de argamassa com areia britada de rocha calcária**. 53 Congresso Brasileiro de Concreto. Florianópolis, 2011.

SILVA, N. G., WALTER, F, PICHETTI, D. Z. C. M., ALEXANDRE JUNIOR, M. C., GLEIZE, P. J. P. **Retração Restringida de Argamassa de Revestimento**. In: 52 Congresso Brasileiro do Concreto, 2010, Fortaleza. Anais do 52 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo, 2010.

SILVA, V. S. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais – melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz**. 2004. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de São Paulo. São Carlos, 2004.

SNELL, L. M. **How to prevent plastic shrinkage cracks**. Arizona State University, Tempe, Arizona, 2008.

SOARES, E. L; KLIMACZEWSKI, F; TONELLO, I; DE OLIVEIRA, M. D; MARANGON, E; MARTON, L. F. **Avaliação da utilização de sílica de casca de arroz em**

**argamassas de assentamento.** XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Porto Alegre, 2015.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações.** 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

TAYEH, B. A.; ALYOUSEF, R.; ALABDULJABBAR, H.; ALASKAR, A. **Recycling of rice husk waste for a sustainable concrete: A critical review.** Journal of Cleaner Production, v. 312, 2021.

THOMAZ, É. **Trincas em Edifícios – causas, prevenção e recuperação.** São Paulo: PINI, 1989.

THOMAZ, E. **Manual Técnico de Alvenaria: patologia.** São Paulo: Projeto, 1990.

THOMAZ, E. **Fissuração:** 168 casos reais. Notas de aula. Abril de 2003. Disponível em: <[http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/Coletanea\\_Fissuracao\\_Eduardo\\_Thomaz.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/Coletanea_Fissuracao_Eduardo_Thomaz.pdf)> Acesso em: 07 de Maio de 2021.

TRAN, N. P.; GUNASEKARA, C.; LAW, D. W.; HOUSHYAR, S.; SETUNGE, S.; CWIRZEN, A. **A critical review on drying shrinkage mitigation strategies in cement-based materials.** Journal of Building Engineering, v. 38, 2021.

TUAN, N. V.; YE, G.; BREUGEL, K. V. **Mitigation of early age shrinkage of Ultra High Performance Concrete by using Rice Husk Ash.** Proceedings of Hipermat 2012 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials. Kassel, 2012.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: PINI, 2008.

VAN, V.; RÖßLER, C.; BUI, D.; LUDWIG, H. **Rice husk ash as both pozzolanic admixture and internal curing agent in ultra-high performance concrete.** Cement & Concrete composites, v. 53, p. 270-278, 2014.

WANG, J.; XIAO, J.; ZHANG, Z.; HAN, K.; HU, X.; JIANG, F. **Action mechanism of rice husk ash and the effect on main performances of cement-based materials: A review.** Construction and Building Materials, v. 288, 2021.

ZAPARTE, T. A. **Análise global da influência da finura da cinza de casca de arroz como substituição parcial ao cimento Portland nas propriedades da argamassa de revestimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

ZHAO, P.; ZSAKI, A. M.; NOKKEN, M. R. **Using digital image correlation to evaluate plastic shrinkage cracking in cement-based materials.** Construction and Building Materials, v.182, p 108-117, 2018.