



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS  
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DO CHAPISCO COM CINZA DE CASCA DE  
ARROZ NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSA EM  
SUBSTRATOS CERÂMICOS COM DIFERENTES  
POROSIDADES**

**RODRIGO LOPES ERHART**

São Leopoldo, Abril de 2014.



RODRIGO LOPES ERHART

**INFLUÊNCIA DO CHAPISCO COM CINZA DE CASCA DE  
ARROZ NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSA EM  
SUBSTRATOS CERÂMICOS COM DIFERENTES  
POROSIDADES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Dr. Claudio de Sousa Kazmierczak  
**Co-Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dra. Marlova Piva Kulakowski

**Banca examinadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dra. Ângela Borges Masuero  
UFRGS  
Prof<sup>ª</sup>. Dra. Helena Carasek  
UFG

São Leopoldo, Abril de 2014.

E67i

Erhart, Rodrigo Lopes

**Influência do chapisco com cinza de casa de arroz na aderência de argamassa em substratos cerâmicos com diferentes porosidades / Rodrigo Lopes Erhart. – São Leopoldo, 2014.**

203 p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak  
Co-Orientadora: Prof. Dra. Marlova Piva Kulakowski  
Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2014.

1. Substrato cerâmico. 2. Aderência. 3. Chapisco. 4. Cinza de casca de arroz. 5. Revestimento de argamassa I.

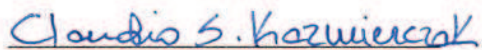
**Catálogo na Publicação:  
Maria do Carmo Mitchell Neis – CRB 10/1309**

**RODRIGO LOPES ERHART**

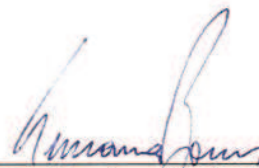
**INFLUÊNCIA DO CHAPISCO COM CINZA DE CASCA DE  
ARROZ NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSA EM  
SUBSTRATOS CERÂMICOS COM DIFERENTES  
POROSIDADES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovada em 06 de maio de 2014.



Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak  
Orientador – UNISINOS

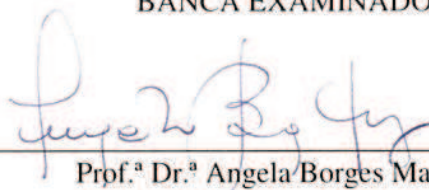


Prof.ª Dr.ª Luciana Paulo Gomes  
Coordenadora do PPGEC/UNISINOS

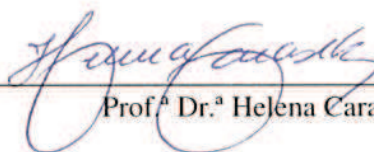


Prof.ª Dr.ª Marlova Piva Kulakowski  
Coorientadora – UNISINOS

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dr.ª Angela Borges Masuero - UFRGS



Prof.ª Dr.ª Helena Carasek- UFG

***Veni, vidi, vici.***  
*Júlio César*







## AGRADECIMENTOS

A Deus, energia que permeia o universo.

Aos meus familiares pela compreensão do tempo roubado e, em especial, à minha colega e amor.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, Milton Valente, pela concessão da bolsa parcial de estudos e FINEP pelo financiamento da pesquisa.

Ao meu orientador Claudio de Souza Kazmierczak pelo incentivo e confiança, e acima de tudo, pelo exemplo de caráter.

À minha co-orientadora Marlova Piva Kulakowski, pela paciência e amizade a mim confiada.

Aos professores Andrea Kern, Feliciane Brehm, Luís Miranda, Luciana Paulo Gomes, Marco González, Maurício Mancio e Bernardo Tutikian.

À secretária do PPG-EC, Simone Trisch, sempre muito solícita e seus colegas da secretaria (Juliano, Sandra, Aline e Raquel).

Aos laboratoristas Ingrid Vergara Schorn, Fellipe Buscari Tortelli e, especialmente, aos amigos e parceiros de eventos, artigos, almoços, churrascos e risadas, Rodrigo Périco de Souza (Txai) e Maurício Schäfer (Txai).

Ao incansável bolsista Rafael Trevisan, meu infalível ajudante nesta empreitada. Aos bolsistas Vinicius Menetrier, Angélica Aroche, Emanuele Araújo, Roxane, Fernanda Colombo e Naiara Haag, meu muito obrigado.

Às laboratoristas Alini Camacho e Agnes Kich pela compreensão e auxílio nas análises junto ao Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais – Unisinos.

Ao Sr. Roque Schneider pelo auxílio prestado junto ao Laboratório de Metalurgia.

Ao Sr. João, Airton e Xenenem pelo auxílio prestado junto à Maquetaria.

Aos laboratoristas Guilherme, Jacson e Eder, dos laboratórios de Metrologia e Metalografia.

À laboratorista Michele Goulart, do Itt Fóssil.

Aos laboratoristas Katiele e Eduardo, do Itt Fuse.

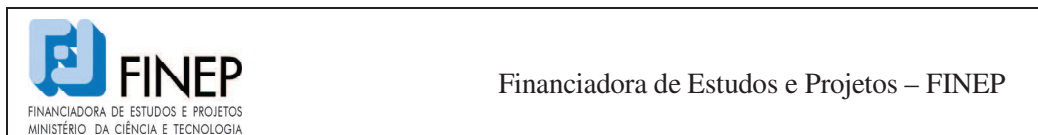
Ao pessoal do Itt Performance, pelo companheirismo no laboratório.

À Maxx Metalúrgica, de São Sebastião do Caí/RS, pela doação do equipamento de chapiscar.

À Pauluzzi Blocos Cerâmicos, de Sapucaia do Sul/RS, pela doação dos blocos cerâmicos.

E, finalmente, aos amigos que fiz neste mestrado: Franciéli Mantovani (Fran), Patrícia Sardão (Paty), Leandro Gomes (Véio), Jorge Berwanger Filho (Jorginho), Daniele Artini Gujel Capellari (Dani), Roberto Christ (Beto), Vinícius Martins (Vini) Lucas Sebastiany, Michel Agostini, Ângelo Fumagalli Rostirolla, Michele Dias, Bruno Sartori, Neuri Rempel. Aos amigos e colegas Eduardo, Carina, Renata, Cris, Alice, Magali, Michele, Daniela Fastofski, Elenize, Iara, Jeferson, Jeferson Alcântara, Carlos Eduardo (Duda Personal), Francine, Cibele, João Rafael (Teco), Carlos Eduardo Braun e Vinicius Ortolan.

## **FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA**



FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

Projeto: Desenvolvimento de métodos e metodologia para avaliação de desempenho de tecnologia inovadoras no âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica.

Subprojeto 2 – Avaliação da durabilidade de materiais, componentes e elementos construtivos inovadores.

Objetivo: Definição de critérios e métodos para avaliação da durabilidade de materiais, componentes e elementos construtivos inovadores.



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	31
1.2	OBJETIVOS .....	32
1.2.1	<i>Objetivo geral</i> .....	32
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	32
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA .....	33
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	33
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>35</b>
2.1	SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	35
2.2	SUBSTRATO .....	36
2.2.1	<i>Substratos cerâmicos</i> .....	37
2.2.2	<i>Preparo do substrato</i> .....	38
2.2.3	<i>Porosidade do substrato</i> .....	41
2.2.4	<i>Rugosidade do substrato</i> .....	48
2.3	ARGAMASSA DE REVESTIMENTO.....	50
2.4	INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO .....	51
2.5	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA DE CHAPISCO.....	54
2.5.1	<i>Estado fresco</i> .....	55
2.5.2	<i>Estado endurecido</i> .....	56
2.6	ADIÇÕES POZOLÂNICAS.....	63
2.6.1	<i>Cinza de casca de arroz</i> .....	64
2.6.2	<i>Influência da cinza de casca de arroz nas argamassas de chapisco</i> .....	66
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>69</b>
3.1	PLANEJAMENTO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	71
3.1.1	<i>Fatores fixos</i> .....	71
3.1.2	<i>Fatores de controle (independentes)</i> .....	71
3.1.3	<i>Fatores não controláveis (independentes)</i> .....	71
3.1.4	<i>Variáveis de resposta (dependentes)</i> .....	72
3.1.5	<i>Análise estatística</i> .....	72
3.2	MATERIAIS.....	72
3.2.1	<i>Substratos cerâmicos</i> .....	72
3.2.2	<i>Aglomerantes</i> .....	76
3.2.3	<i>Água</i> .....	77
3.2.4	<i>Agregado miúdo natural</i> .....	77
3.2.5	<i>Pozolana</i> .....	78
3.3	PRODUÇÃO DOS SUBSTRATOS .....	81
3.3.1	<i>Substratos cerâmicos</i> .....	82
3.3.2	<i>Caracterização dos substratos</i> .....	82
3.4	PRODUÇÃO DA ARGAMASSA DE CHAPISCO .....	85
3.5	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO .....	86
3.6	PREPARAÇÃO DOS REVESTIMENTOS.....	86
3.6.1	<i>Aplicação do chapisco</i> .....	87
3.6.2	<i>Aplicação da argamassa de revestimento</i> .....	87
3.7	CARACTERIZAÇÕES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO .....	88
3.7.1	<i>Índice de consistência por espalhamento</i> .....	88
3.7.2	<i>Retenção de água</i> .....	88
3.7.3	<i>Densidade de massa</i> .....	89
3.7.4	<i>Teor de ar incorporado</i> .....	89
3.8	CARACTERIZAÇÕES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	89
3.8.1	<i>Absorção de água por capilaridade</i> .....	89
3.8.2	<i>Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica</i> .....	89

3.8.3	<i>Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas</i> .....	90
3.8.4	<i>Resistência à compressão</i> .....	90
3.8.5	<i>Resistência à tração na flexão</i> .....	90
3.8.6	<i>Determinação da variação dimensional</i> .....	90
3.8.7	<i>Densidade de massa</i> .....	91
3.8.8	<i>Resistência à tração</i> .....	91
3.9	<b>CARACTERIZAÇÕES DO SUBSTRATO E ARGAMASSA DE CHAPISCO</b> .....	91
3.9.1	<i>Ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa de chapisco</i> .....	91
3.9.2	<i>Determinação da absorção de água por capilaridade</i> .....	92
3.10	<b>CARACTERIZAÇÕES DO SISTEMA SUBSTRATO, ARGAMASSA DE CHAPISCO E ARGAMASSA DE REVESTIMENTO</b> .....	92
3.10.1	<i>Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas</i> .....	93
3.10.2	<i>Resistência de aderência à tração</i> .....	93
3.10.3	<i>Extensão de aderência</i> .....	94
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>95</b>
4.1	<b>SUBSTRATOS</b> .....	95
4.1.1	<i>Porosimetria por intrusão de mercúrio</i> .....	95
4.1.2	<i>Massa específica e absorção de água dos blocos utilizados como substrato</i> .....	97
4.1.3	<i>Absorção de água total e capilar pelo método da Rilem TC 116 PCD (1999)</i> .....	99
4.1.4	<i>Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas</i> .....	103
4.1.5	<i>Microscopia eletrônica de varredura</i> .....	105
4.1.6	<i>Análise dos métodos de indicadores de porosidade</i> .....	106
4.1.7	<i>Rugosidade das faces</i> .....	108
4.1.8	<i>Resistência à tração</i> .....	110
4.2	<b>ARGAMASSAS DE CHAPISCO NO ESTADO FRESCO</b> .....	110
4.2.1	<i>Índice de consistência por espalhamento, retenção de água, teor de ar incorporado e densidade de massa</i> .....	110
4.2.2	<i>Squeeze-flow</i> .....	111
4.3	<b>ARGAMASSAS DE CHAPISCO NO ESTADO ENDURECIDO</b> .....	111
4.3.1	<i>Absorção de água por capilaridade, determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica</i> .....	111
4.3.2	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i> .....	112
4.3.3	<i>Resistências à compressão e à tração na flexão, determinação da variação dimensional e densidade de massa</i> .....	113
4.4	<b>ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO FRESCO</b> .....	113
4.4.1	<i>Índice de consistência por espalhamento, retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado</i> .....	113
4.4.2	<i>Squeeze-flow</i> .....	114
4.5	<b>ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO ENDURECIDO</b> .....	114
4.6	<b>PROPRIEDADES DO SISTEMA DE REVESTIMENTO</b> .....	115
4.6.1	<i>Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas</i> .....	115
4.6.2	<i>Resistência de aderência à tração</i> .....	117
4.6.3	<i>Extensão de aderência</i> .....	124
4.6.4	<i>Relação entre os fatores de controle na resistência de aderência à tração do sistema de revestimento e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas</i> .....	125
4.7	<b>PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE CHAPISCO APLICADAS NOS SUBSTRATOS</b> .....	126
4.7.1	<i>Absorção de água total e capilar pelo método da Rilem TC 116 PCD (1999)</i> .....	126
4.7.2	<i>Resistência de aderência à tração nas argamassas de chapisco</i> .....	134
4.7.3	<i>Relação entre os fatores de controle na resistência de aderência à tração das argamassas de chapisco</i> .....	141
4.8	<b>RELAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA</b> .....	145
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>151</b>
5.1	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	152
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>153</b>
	<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>167</b>

<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>179</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>191</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>195</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>199</b>





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Manifestações Patológicas associadas ao preparo do substrato (Fonte: Bauer, 1997).....	29
Tabela 2 - Composição dos resíduos da construção e demolição em alguns municípios brasileiros .....	30
Tabela 3 - Características dos substratos para aplicação de revestimentos.....	37
Tabela 4 - Tratamentos adotados em blocos cerâmicos.....	38
Tabela 5 - Características dos substratos para aplicação de revestimentos.....	43
Tabela 6 - Lista de propriedades indicadas pelo Comitê 13-MR da Rilem, como requisitos de desempenho (Saretok 1977 apud Araújo 1995). .....	55
Tabela 7 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra), segundo a NBR 13749/13.....	62
Tabela 8 - Tipo de adições pozolânicas.....	63
Tabela 9 - Fatores de controle e variáveis de resposta.....	72
Tabela 10 - Matriz experimental da pesquisa.....	72
Tabela 11 – Características físicas dos blocos não sinterizados.....	73
Tabela 12 - Ensaio de caracterização física das cerâmicas por Perda ao fogo.....	73
Tabela 13 - Ensaio de caracterização química da argila e cerâmicas sinterizadas por Fluorescência de raios X.....	73
Tabela 14 - Caracterização química e física do cimento Portland CP II F 32.....	76
Tabela 15 - Ensaio de caracterização química do cimento.....	76
Tabela 16 - Caracterização da cal hidratada CH I.....	77
Tabela 17 - Ensaio de caracterização química da cal por Fluorescência de raios X.....	77
Tabela 18 - Ensaio de caracterização físicas dos agregados miúdos.....	78
Tabela 19 – Composição granulométrica dos agregados miúdos.....	78
Tabela 20 - Ensaio de caracterização química do agregado miúdo por fluorescência de raios X.....	78
Tabela 21 - Caracterização química qualitativa da CCA.....	79
Tabela 22 - Caracterização química quantitativa da CCA.....	79
Tabela 23 – Caracterização granulométrica da cinza de casca de arroz.....	80
Tabela 24 – Resultado do índice de atividade pozolânica pela NBR 12653 (ABNT, 2012). ..	81
Tabela 25 - Relação água/aglomerante e teor de água das argamassas de chapisco.....	86
Tabela 26 – Valores por porosimetria por intrusão de mercúrio nos substratos.....	96
Tabela 27 - Variação das características dimensionais dos blocos.....	97
Tabela 28 - Análise de variância (ANOVA) da taxa de absorção capilar.....	101
Tabela 29 – Comportamento da absorção capilar dos blocos (Rilem TC 116 PCD) e absorção de água inicial (NBR 15270-3).....	102
Tabela 30 – Índice de porosidade total dos blocos pelo método da Rilem.....	103
Tabela 31 - Análise de variância (ANOVA) da porosidade total.....	103
Tabela 32 – Absorção capilar pela Rilem nos blocos.....	103
Tabela 33 – Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.....	104
Tabela 34 - Análise de variância (ANOVA) da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.....	104
Tabela 35 - Coeficientes de determinação entre os métodos de ensaios diretos e indiretos de porosidade.....	106
Tabela 36 - Rugosidades médias das cerâmicas.....	109
Tabela 37 - Análise de variância (ANOVA) da rugosidade Ra ( $\mu\text{m}$ ) entre blocos.....	109
Tabela 38 - Resistência à tração nos blocos.....	110

Tabela 39 - Média dos valores para índice de consistência por espalhamento, retenção de água, teor de ar incorporado e densidade de massa. ....	110
Tabela 40 – Absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. ....	112
Tabela 41 – Módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias. ....	113
Tabela 42 – Resultados das resistências à compressão e tração na flexão e variação dimensional. ....	113
Tabela 43 - Consistência por espalhamento, retenção de água, densidade de massa e ar incorporado. ....	114
Tabela 44 - Médias obtidas nos ensaios no estado endurecido. ....	115
Tabela 45 - Média das velocidades ultrassônicas do sistema de revestimento. ....	116
Tabela 46 - Média dos resultados da resistência de aderência do conjunto no substrato a 750°C. ....	118
Tabela 47 - Influência da CCA na resistência de aderência à tração nos revestimentos com substrato a 750°C. ....	118
Tabela 48 - Média dos resultados da resistência de aderência do conjunto no substrato a 900°C. ....	119
Tabela 49 - Influência da CCA na resistência de aderência à tração nos revestimentos com substrato a 900°C. ....	120
Tabela 50 - Média dos resultados da resistência de aderência do conjunto no substrato a 1000°C. ....	121
Tabela 51- Influência da CCA na resistência de aderência à tração nos revestimentos com substrato a 1000°C. ....	121
Tabela 52 - Análise de variância (ANOVA) dos fatores independentes e da interação entre eles em relação à resistência de aderência à tração. ....	123
Tabela 53 - Relação de aderências por faixa de resistência à tração. ....	124
Tabela 54 – Coeficientes de absorção no regime capilar pelo método da Rilem. ....	127
Tabela 55 Alteração no regime capilar pelo método da Rilem. ....	128
Tabela 56 - Coeficiente de absorção capilar pelo método da Rilem. ....	129
Tabela 57 – Coeficiente de absorção capilar. ....	131
Tabela 58 – Taxa de absorção capilar dos substratos chapiscados. ....	132
Tabela 59 - Análise de variância (ANOVA) entre os fatores tipo de substrato e teor de CCA quanto à taxa de absorção capilar. ....	132
Tabela 60 - Porosidade total dos substratos chapiscados. ....	133
Tabela 61 - Análise de variância (ANOVA) entre os fatores tipo de substrato e teor de CCA quanto à porosidade total. ....	133
Tabela 62 - Médio das resistências de aderência à tração dos chapiscos no bloco a 750°C. ....	135
Tabela 63 - Análise de variância (ANOVA) do fator teor na resistência de aderência à tração dos chapiscos nos blocos sinterizados a 750°C. ....	135
Tabela 64 - Média das resistências de aderência à tração dos chapiscos no bloco a 900°C. ....	137
Tabela 65 - Análise de variância (ANOVA) do fator teor na resistência de aderência à tração dos chapiscos nos blocos sinterizados a 900°C. ....	137
Tabela 66 - Média das resistências de aderência à tração dos chapiscos no bloco a 1000°C. ....	138
Tabela 67 - Análise de variância (ANOVA) do fator teor na resistência de aderência à tração dos chapiscos nos blocos sinterizados a 1000°C. ....	138
Tabela 68 – Faixa de resistências de aderência à tração dos chapiscos. ....	139
Tabela 69 - Análise de variância fatorial da influência da temperatura de sinterização e teor de CCA nos blocos chapiscados. ....	140
Tabela 70 - Resistências de aderência médias por temperatura de queima dos substratos nas argamassas de chapisco e revestimento. ....	145

Tabela 71 - Resistências de aderência médias por teor de CCA das argamassas de chapisco e revestimento. ....	146
Tabela 72 - Análise de variância fatorial da influência da temperatura de sinterização e teor de CCA nos na resistência de aderência à tração do sistema de revestimento e argamassa de chapisco. ....	147



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fatores atuantes sobre o sistema de revestimento de argamassa .....	36
Figura 2 - Porosidade aberta e fechada em cerâmicas (Adaptado: Collatto, 2008).....	43
Figura 3 - Curva de absorção capilar - Honório; Carasek (2010). .....	47
Figura 4 - Perfis de rugosidade obtidos por triangulação laser para a superfície de concreto tratado por jato de areia (à esquerda) e uma superfície não tratada (à direita) (Muller et al. (2006) apud Mauroux (2011)). .....	49
Figura 5 - Mecanismos de aderência mecânica (Fonte: adaptado por Pretto, 2007).....	52
Figura 6 - Mecanismos de aderência entre argamassa e substrato (Fonte: Carasek, 1996). ....	54
Figura 7 – Fatores que influenciam a aderência de argamassas sobre bases porosas .....	59
Figura 8 - Extensão de aderência em substrato cerâmico - imagem obtida por Carasek (1996). .....	61
Figura 9 - Produtos hidratados identificados na interface chapisco/substrato (Fonte: Silva e Liborio, 2003). .....	68
Figura 10 - Ensaios desenvolvidos no programa experimental. ....	70
Figura 11 – Difratoograma da cerâmica não sinterizada. ....	74
Figura 12 – Difratoograma da cerâmica sinterizada a 750°C.....	74
Figura 13 – Difratoograma da cerâmica sinterizada a 900°C.....	74
Figura 14 – Difratoograma da cerâmica sinterizada a 1000°C.....	75
Figura 15 – Difratoograma de Raios X da Cinza de casca de arroz. Fonte: Fedumenti (2013). 79	
Figura 16 – Distribuição granulométrica da Cinza de casca de arroz . Fonte: LVCM / Unisinos.....	80
Figura 17 – Curva granulométrica da CCA, aglomerantes e agregado miúdo.....	81
Figura 18 – Sistema para posicionamento dos sensores do ultrassom. ....	84
Figura 19 - Ensaio realizado com o perfilômetro para determinação da rugosidade das faces da cerâmica. ....	85
Figura 20 - Caixa de queda empregada para a aplicação da argamassa de revestimento.....	88
Figura 21 - Tomada da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas das argamassas, pelo método direto.....	90
Figura 22 – Preparação do bloco chapiscado para o ensaio de resistência de aderência à tração. ....	92
Figura 23 - Medição da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, pelo método direto, no conjunto de revestimento.....	93
Figura 24 – Volume acumulado de poros por intrusão de mercúrio nos blocos sinterizados a 750, 900 e 1000°C. ....	95
Figura 25 – Discriminação da porosidade dos substratos em faixas de distribuição de poros. 96	
Figura 26 - Blocos sinterizados a 1000, 900 e 750°C, respectivamente. ....	97
Figura 27 - Índice de absorção de água dos blocos ensaiados.....	98
Figura 28 - Índice de absorção de água inicial dos blocos ensaiados.....	98
Figura 29 – Perfil de absorção dos blocos.....	100
Figura 30 - Comportamento dos blocos em função da taxa de absorção capilar. ....	101
Figura 31 – Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas nos substratos. ....	104
Figura 32 - Imagem da cerâmica 750°C – magnificação 97 vezes. ....	105
Figura 33 – Estrutura interna da cerâmica 750°C – magnificação 2810 vezes. ....	105
Figura 34 – Imagem da cerâmica 900°C – magnificação 97 vezes.....	105
Figura 35 - Estrutura interna da cerâmica 900°C – magnificação 2810 vezes.....	105
Figura 36 - Imagem da cerâmica 1000°C – magnificação 97 vezes. ....	105
Figura 37 – Estrutura interna da cerâmica 1000°C – magnificação 2810 vezes. ....	105

Figura 38 – Esquema bidimensional da porosidade da cerâmica. Fonte: Krakowiak; Lourenço; Ulm (2011).....	108
Figura 39 - Rugosidades médias ( $R_a - \mu m$ ) obtidas para os diferentes blocos em função da temperatura de sinterização.....	109
Figura 40 – Resultados do squeeze-flow das argamassas de chapisco. ....	111
Figura 41 - Variação do módulo de elasticidade dinâmico ao longo do tempo.....	112
Figura 42 – Comportamento da argamassa de revestimento aos 15 minutos. ....	114
Figura 43 - Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no sistema de revestimento, ao longo do tempo.....	116
Figura 44 - Resistência de aderência à tração do sistema de revestimento em função do teor de CCA no substrato a 750°C. ....	117
Figura 45 – Resistência de aderência à tração para os teores de substituição no substrato sinterizado a 750°C. ....	118
Figura 46 - Resistência de aderência à tração do sistema de revestimento em função do teor de CCA no substrato a 900°C. ....	119
Figura 47 – Resistência de aderência à tração para os teores de substituição no substrato sinterizado a 900°C. ....	120
Figura 48 - Resistência de aderência à tração do sistema de revestimento em função do teor de CCA no substrato a 1000°C. ....	121
Figura 49 - Resistência de aderência à tração para os teores de substituição no substrato sinterizado a 1000°C. ....	122
Figura 50 – Comparação entre resistências de aderência à tração dos diferentes sistemas de revestimento. ....	123
Figura 51 – Falhas de extensão de aderência nos substratos a 750°C – a) teor referência – b) teor 5% - c) teor 10%. ....	124
Figura 52 – Falhas de extensão de aderência nos substratos a 900°C – a) teor referência – b) teor 5% - c) teor 10%. ....	125
Figura 53 – Falhas de extensão de aderência nos substratos a 1000°C – a) teor referência – b) teor 5% - c) teor 10%. ....	125
Figura 54 – Coeficiente de determinação entre aderência do sistema e VPOU (teor Ref.)...	126
Figura 55 – Coeficiente de determinação entre aderência do sistema e VPOU (teor 5%)...	126
Figura 56 – Coeficiente de determinação entre aderência do sistema e VPOU (teor 10%)..	126
Figura 57 – Perfil de absorção capilar dos chapiscos aplicados sobre substrato sinterizado a 750°C. ....	127
Figura 58 – Perfil de absorção capilar dos chapiscos aplicados sobre substrato sinterizado a 900°C. ....	128
Figura 59 – Perfil de absorção capilar dos chapiscos aplicados sobre substrato sinterizado a 1000°C. ....	129
Figura 60 – Perfil de absorção capilar dos chapiscos aplicados sobre os diversos substratos. ....	130
Figura 61 - Relação taxa de absorção capilar dos blocos e blocos chapiscados. ....	132
Figura 62- Relação de absorção total nos diferentes substratos chapiscados e do bloco.....	134
Figura 63 – Resistência de aderência à tração dos chapiscos no bloco 750°C. ....	135
Figura 64 - Resistência de aderência à tração dos chapiscos para os teores de substituição no substrato sinterizado a 750°C.....	136
Figura 65 - Resistência de aderência à tração dos chapiscos no bloco 900°C.....	136
Figura 66 - Resistência de aderência à tração dos chapiscos para os teores de substituição no substrato sinterizado a 900°C.....	137
Figura 67 – Resistência de aderência à tração dos chapiscos no bloco 1000°C. ....	138

Figura 68 - Resistência de aderência à tração dos chapiscos para os teores de substituição no substrato sinterizado a 1000°C. ....	139
Figura 69 – Resumo dos diferentes perfis de aderência dos chapiscos. ....	140
Figura 70 – Coeficiente de determinação entre aderência e absorção capilar (teor Ref.) nos blocos chapiscados. ....	141
Figura 71 - Coeficiente de determinação entre aderência e absorção capilar (teor 5%) nos blocos chapiscados. ....	141
Figura 72 Coeficiente de determinação entre aderência e absorção capilar (teor 10%) nos blocos chapiscados. ....	141
Figura 73 - Coeficiente de determinação entre a taxa de absorção capilar das cerâmicas e a resistência de aderência nas cerâmicas chapiscadas. ....	142
Figura 74 - Coeficiente de determinação entre aderência da cerâmica chapiscada e absorção capilar das cerâmicas (teor Ref.). ....	143
Figura 75 - Coeficiente de determinação entre aderência da cerâmica chapiscada e absorção capilar das cerâmicas (teor 5%). ....	143
Figura 76 - Coeficiente de determinação entre aderência da cerâmica chapiscada e absorção capilar das cerâmicas. ....	143
Figura 77 - Coeficiente de determinação de comportamento entre as cerâmicas revestidas com chapisco em função da resistência de aderência e da absorção capilar dos blocos. ....	144
Figura 78 - Resistências de aderência à tração do sistema da chapisco em função dos fatores de controle temperatura e teor de CCA. ....	147
Figura 79 - Relação entre resistências de aderência à tração entre o chapisco e o revestimento em função do teor de CCA. ....	148
Figura 80 - Relação entre resistências de aderência à tração entre o chapisco e o revestimento em função da temperatura de sinterização. ....	149





## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira Normas Técnicas
ABRELPE Especiais	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANOVA	Análise de variância
ASTM	American Society for Testing and Materials
°C	Graus Celsius
CCA	Cinza de casca de arroz (abreviatura não normatizada)
CH-1	Cal hidratada
COV	Composto orgânico volátil
CP II-F	Cimento Portland pozolânico
C-H	Hidróxido de cálcio
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
cm	Centímetros
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
CV	Coefficiente de variação
EN	Norma Europeia
GL	Grau de liberdade
IC	Índice de Consistência
IRA	Initial Rate Absorption
IRX	Inspeção por Raios-x
ISO	International Organization for Standardization
Itt Fuse	Instituto Tecnológico em Ensaios de Segurança Funcional
Itt Fossil	Instituto Tecnológico de Micropaleontologia
kg	Quilograma
LMC	Laboratório de Materiais de Construção
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
m	Metro
mm	Milímetro
µm	Micrômetro
µs	Microsegundos
µCT	Microtomografia
nm	Nanômetro
PIM	Porosimetria por intrusão de mercúrio
MPa	Mega Pascal
MQ	Média quadrática
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma MERCOSUL
NS	Valor / efeito não significativo
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Ra	Rugosidade média
RCD	Resíduo da Construção e Demolição
Rilem	Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systemes de Construction et Ouvrages
SBTA	Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
S	Valor / efeito significativo
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNISINOS  
VPOU

Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da secção comprimida
a/c	Relação água/cimento
D	Altura do corpo de prova
dmáx	Diâmetro Máximo de Feret
F <sub>f</sub>	Carga aplicada verticalmente no centro do prisma
F <sub>c</sub>	Carga máxima aplicada no prisma
IC	índice de consistência
R <sub>c</sub>	Resistência à compressão
R <sub>f</sub>	Resistência à tração na flexão
t	Tempo
ν	Coefficiente de Poisson
v	Velocidade da onda ultrassônica
γ	Densidade de massa no estado endurecido
#	Abertura de malha da peneira
Ø	Diâmetro



## RESUMO

ERHART, R.L. **Influência do chapisco com cinza de casca de arroz na aderência de argamassa em substratos cerâmicos com diferentes porosidades.** São Leopoldo, 2014. 203 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2014.

A indústria da produção de cimento Portland é umas das que mais gera CO<sub>2</sub> no mundo. É iminente a procura por alternativas com adição de subprodutos ou coprodutos na fabricação do cimento a fim de minimizar o impacto ambiental negativo da produção do cimento.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar algumas propriedades relacionadas à aderência e a influência da substituição de cimento por cinza de casca de arroz (CCA) em sistemas de revestimento de argamassa, em função da porosidade dos substratos empregados.

O emprego de materiais cujas características nos substratos são diversas, seja por sua porosidade ou rugosidade, carece de pesquisas quanto ao preparo desses substratos. Neste trabalho foram produzidos substratos em cerâmica com sinterizações de 750, 900 e 1000 °C, em que o processo proporcionou rugosidades e porosidades distintas.

Sobre os blocos foram aplicadas argamassas de chapisco no traço 1:3, com teores de 5% e 10% (em volume) de cinza de casca de arroz proveniente do processo de queima por leito fluidizado. Da mesma forma, foram aplicadas argamassas de revestimento com traço 1:1:6 sobre os blocos chapiscados. As argamassas foram caracterizadas nos estados fresco e endurecido. Os métodos de aplicação das argamassas (chapisco e revestimento) foram realizados buscando a minimização da influência da mão de obra.

Para análise das propriedades de aderência dos chapiscos foram empregados métodos diretos e indiretos para estimar a porosidade dos substratos. Paralelamente, investigou-se a relação entre a rugosidade das faces dos substratos e a aderência das argamassas de preparo.

Observou-se nesta pesquisa, dada à complexidade do fenômeno de aderência, que as propriedades de porosidade dos substratos sobrepõem-se à rugosidade das faces. O uso da cinza de casca de arroz tende a apresentar benefícios somente quando empregada sobre bases pouco porosas.

Palavras-chave: Substrato cerâmico, aderência, chapisco, cinza de casca de arroz; revestimento de argamassa;



## ABSTRACT

ERHART, R.L. **Influence of roughcast with rice husk ash in mortar adhesion on ceramic substrates with different porosities.** São Leopoldo, 2014. Pages: 203. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo, 2013.

The Portland cement manufacturing industry is one of greatest CO<sub>2</sub> generators in the world. It is latent the demand for alternatives with added co-products or by-products in cement in order to minimize the negative environmental impact of cement production.

In this context, this work aims to evaluate the performance and the influence of the replacement of cement by rice husk ash (RHA) in mortar coating systems, linked with the porosity of the substrates employed.

The materials used on substrates have several characteristics, either their porosity or rugosity, lack of research on the preparation of these substrates. In this work were produced masonry bricks with different sintering degrees. The work deals with the performance of mortar coating systems on ceramic substrates and concrete. Therefore, it will produce ceramic plates with different sintering degrees (750, 900 and 1000 °C). This process provides distinct roughness and porosity. Over the bricks were applied roughcast mortar (1:3 blend), with levels of 5% and 10% (by volume) of rice husk ash from the burning fluidized bed process. Similarly, mortar coating (1:1:6 blend) were applied on roughcasting bricks. The mortars were characterized in fresh and hardened states. The mortars (roughcast and mortar coating) application methods were conducted to minimize the labor influence.

For analysis of roughcast mortars adhesion properties were tested direct and indirect methods to estimate the bricks porosity. In parallel, it were investigated the relationship between the brick roughness surfaces and the roughcast adhesion.

It was observed in this study, as the complexity of the adhesion phenomenon, that the properties of brick porosity overlap the brick roughness. The rice husk ash tends to improve adhesion only when used on slightly porous brick.

Key-words: Brick, adhesion, roughcast mortar, rice husk ash; mortar coating;





## 1 INTRODUÇÃO

Alguns materiais e métodos de preparo e aplicação do revestimento de argamassa comumente utilizados, geram manifestações patológicas que na maioria das vezes necessitam da remoção do revestimento aplicado para o seu tratamento (SPRINGER JUNIOR, 2008). Esta questão está intimamente relacionada com o desempenho das edificações.

Entre as manifestações patológicas encontradas nos revestimentos, segundo Bauer (1997), destacam-se: descolamentos, fissuras, eflorescências, falhas relacionadas à umidade, contaminação atmosférica e por substâncias agressivas. A Tabela 1 apresenta os problemas relacionados aos preparo do substrato:

**Tabela 1 – Manifestações Patológicas associadas ao preparo do substrato (Fonte: Bauer, 1997).**

Manifestação Patológica	Causa
Descolamento	Preparação inadequada da base de concreto (presença de desmoldante ou resíduos) Molhagem deficiente da base Ausência de chapisco Chapisco preparado com areia fina
Fissuração	Chapisco preparado com areia muito fina

Com intuito de minimizar estas manifestações patológicas, principalmente o descolamento, diversas pesquisas vêm sendo realizadas. Dentro deste contexto, podem-se relacionar aquelas que tratam da influência da absorção de água do substrato (água livre) na resistência de aderência. Para Honório; Carasek, (2010) a relação entre a absorção de água e a resistência de aderência parece óbvia, uma vez que a ligação ocorre na interface dos materiais, mas são diversos os resultados observados pelos pesquisadores.

A porosidade do substrato, que determina a quantidade total de água que pode ser absorvida, e a força capilar, que depende da natureza e dimensões dos poros, determina a velocidade de absorção de água. Estes fenômenos da movimentação de água na base influem na aderência dos revestimentos (PRETTO, 2007).

Para Consoli (2006), a vida útil, a durabilidade e a estética dos revestimentos de argamassa estão relacionadas à qualidade de seus componentes que, por certo período de tempo, deve atender as solicitações em níveis estabelecidos como adequados. Essas solicitações não estão restritas às questões da habitabilidade, visto que o aparecimento de manifestações patológicas precoces em revestimentos tende a depreciar o valor do bem ou forçar a antecipação da manutenção.

Segundo Pinto e González (2005), 59% dos resíduos de construção e demolição são oriundos de reformas, ampliações e demolições. No trabalho realizado por Bernardes *et al.* (2008), observou-se que 25,4% dos resíduos gerados em reformas e demolições, consistiam em argamassas<sup>1</sup>. Outros dados semelhantes podem ser observados na Tabela 2:

**Tabela 2 - Composição dos resíduos da construção e demolição em alguns municípios brasileiros**

Local	Incidência			
	Argamassa (%)	Concreto (%)	Cerâmica (%)	Outros (%)
Porto Alegre <sup>(1)</sup>	28,26	15,18	26,33	20,23
Novo Hamburgo <sup>(2)</sup>	34	26,8	22,7	16,5
São Leopoldo <sup>(2)</sup>	22	26	31,6	20,4
Salvador <sup>(3)</sup>	33	20	14	33
Maceió <sup>(4)</sup>	27,82	18,65	48,15	5,38

**Fontes: (1) (LEITE, 2001); (2) Kazmierczak et al. (2006); (3) (CARNEIRO *et al.*, 2001); (4) (VIEIRA, 2003).**

Por outro lado, a indústria da construção civil, apesar do crescimento moderado nos últimos dois anos, tem elevada demanda por matéria prima. Da mesma forma em que esta demanda cresce, a geração de resíduos acompanha essa tendência, assim como a escassez de matérias primas começa a ficar mais evidente. Segundo Angulo *et al.* (2003), o setor da construção civil encontra-se entre os maiores consumidores de recursos naturais não renováveis. Esse consumo é na ordem de 14% a 50% dos recursos naturais extraídos no mundo (SOUSA; DEANA, 2007).

Atualmente, segundo Karim *et al.* (2011), o cimento Portland é o segundo material mais consumido no mundo, depois da água. A produção de cimento é um dos maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub> no planeta, uma vez que cerca de 7% do dióxido de carbono produzido provém da indústria cimenteira. Conforme Metha (2009), para a produção de uma tonelada de clínquer, aproximadamente outra tonelada de CO<sub>2</sub> é produzida. Para o ano de 2013, segundo o Cemweek (2013), é esperado o consumo de 4 bilhões de toneladas de cimento no mundo. As possíveis substituições parciais desse material por coprodutos contribuem na mitigação desse impacto ambiental negativo.

Tem-se estudado alternativas de materiais que possam ser empregados como pozolanas, entre elas o emprego da sílica da cinza da casca de arroz. A cinza de casca de arroz (CCA) tem um elevado potencial de atividade pozolânica, que influencia positivamente nos compósitos em que é aplicada. Para Abreu, Schneider e Cincotto (2005) adição de CCA vem sendo pesquisada como uma substituição de cimento Portland em misturas ternárias (cinzas volantes, microssílica e CCA) com uma melhoria substancial nas propriedades mecânicas e de

<sup>1</sup> Neste contexto não se especifica o tipo de argamassa.

durabilidade em concretos. Segundo Possan, Venquiaruto e Dal Molin (2007), a substituição de pozolanas em compósitos cimentícios, como a cinza de casca de arroz, tem grande viabilidade uma vez que contribui nas características de desempenho, reduz os custos de produção e apresenta grande importância ambiental. Conforme Nair *et al.* (2008), análises das cinzas resultantes da queima de casca de arroz mostram que a maior quantidade de sílica amorfa é formada em condições controladas de queima. Outrossim, devido à elevada área superficial específica, a cinza da casca de arroz pode atuar como um intensificador de viscosidade para produtos cimentícios, pois a CCA aumenta a capacidade de retenção de água, e, portanto, aumenta a viscosidade da mistura (SAFIUDDIN; WEST; SOUDKI, 2012). Este fator é importante para o desempenho de revestimentos de argamassa, uma vez que tem influência direta na fissuração e, por conseguinte, na resistência de aderência dos mesmos, prevenindo manifestações patológicas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa tem como escopo a contribuição nos estudos que tratam das propriedades relacionadas à aderência de argamassas de chapisco com a substituição parcial de cimento Portland por cinza de casca de arroz, com o objetivo de melhorar a aderência no sistema de revestimento, em substratos com distintas características de porosidade e rugosidade.

É consenso na comunidade técnica que a perda ou falta de aderência ao substrato está entre as mais importantes manifestações patológicas das edificações.

Para Silva (2004), a cinza da casca de arroz melhora a resistência mecânica de pastas cimentícias. Segundo a mesma autora, a sílica reduz a permeabilidade e a porosidade, uma vez que sua ação se dará tanto por efeito pozolânico (através da reação com o hidróxido de cálcio –  $\text{Ca(OH)}_2$ , formando produtos resistentes, como silicato de cálcio hidratado – C-S-H), como por efeito microfino, com o preenchimento dos vazios e interrupção da rede capilar.

A utilização de cinza de casca de arroz como material pozolânico em produtos cimentícios oferece várias vantagens, tais como maior resistência e propriedades de durabilidade, os custos reduzidos devido ao baixo consumo de cimento e os benefícios ambientais relacionados ao descarte de resíduos. (SILVA, 2004; LERTSATITTHANAKORN; ATTHAJARIYAKUL; SOPONRONNARIT, 2009; KARIM *et al.*, 2011)

Ao se tratar da substituição de cimento Portland por CCA em chapiscos, podem-se citar os estudos realizados por Silva (2004), Moura (2007), Silva (2009), e Gasperin (2011).

No que tange a aderência em sistemas de revestimento, diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de identificar a influência das características do substrato na aderência: Carasek (1996), Candia; Franco (1998), Scartezini (2002), Paes (2004), Gonçalves (2004), Possan, Venquiaruto e Dal Molin (2007), Honório e Carasek (2009, 2010), Santana (2010), Gaspar (2011), Pagnussat (2013).

Devido à grande variedade de propriedades entre diferentes bases, o chapisco é aplicado com o objetivo de aperfeiçoar a capacidade de aderência, em especial sobre superfícies muito lisa e/ou com a porosidade e a capacidade de sucção inadequadas. Isso ocorre principalmente em revestimentos sujeitos a solicitações mais severas, como revestimentos externos e de tetos. (KAZMIERCZAK; BREZEZINSKI; COLLATTO, 2007).

Dessa forma, o aprofundamento das questões supramencionadas é latente em pesquisas científicas relacionadas a quesitos à vida útil dos sistemas construtivos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Como objetivo geral, esta pesquisa visa estudar a influência do emprego de cinza de casca de arroz, em substituição parcial ao cimento, na argamassa de chapisco quanto à resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa em substratos cerâmicos com diferentes porosidades.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Os objetivos específicos são:
- Verificar a influência da adição de cinza de casca de arroz sobre a aderência das argamassas de chapisco e de revestimento;
- Analisar a influência das propriedades de absorção e rugosidade do substrato na aderência das argamassas de chapisco e de revestimento;
- Avaliar metodologias para a determinação da porosidade do substrato e do chapisco verificando sua relação com a resistência de aderência à tração do chapisco e do revestimento;

### **1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA**

Esta pesquisa encontra-se dividida em 5 capítulos:

No primeiro capítulo – Introdução - encontra-se a introdução do tema, justificativa e importância da pesquisa, bem como hipóteses e objetivos da pesquisa.

O capítulo 2, referencial teórico, apresenta uma contextualização sobre os principais aspectos da bibliografia que aborda uma exposição sobre os principais elementos do sistema de revestimento: substrato, argamassa de revestimento e argamassa de chapisco, além das características de adições pozolânicas em matrizes cimentícias.

O capítulo 3, programa experimental, descreve as variáveis do programa experimental, além dos materiais e métodos adotados para o desenvolvimento deste trabalho.

O capítulo 4 consiste na apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos no programa experimental.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros, em função dos resultados obtidos neste trabalho.

### **1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

Este trabalho foi delimitado em função das especificidades da pesquisa, como o prazo e os custos de ensaios. Além disso, diversos fatores têm influência na produção de revestimentos de argamassa, assim como na dos substratos. Dessa forma, se faz necessário delimitar a abrangência deste trabalho, principalmente no que se refere ao programa experimental desenvolvido, conforme segue.

Para a produção do chapisco, com traço de 1:3, em volume, foi empregado cinza de casca de arroz (CCA) – de leite fluidizado, cimento Portland CP II-F e agregado miúdo natural (quartzoso de leite de rio). Para a produção da argamassa mista foram empregados cimento Portland CPII- F e cal hidratada CH-I e areia natural de leite de rio. O traço adotado para a argamassa de revestimento foi 1:1:6 em volume para os aglomerantes e o mesmo agregado miúdo.

A cinza da casca de arroz empregada foi do tipo obtido em leite fluidizado, oriunda da cidade de Alegrete, RS, que é gerada a partir da geração de energia pela combustão da casca de arroz em forno de leite fluidizado. Este coproduto vem sendo empregado em outras pesquisas realizadas nesta universidade e possui sua caracterização já realizada.

A aplicação dos chapiscos sobre os substratos ocorreu de uma única forma, tendo em vista a minimização da variável humana sobre os procedimentos. O mesmo critério foi adotado para a aplicação da argamassa de revestimento.

Os substratos confeccionados para o presente trabalho consistem elementos cerâmicos. Estes substratos consistem em blocos cerâmicos (tipo estrutural). O material empregado foi proveniente da região metropolitana de Porto Alegre. O processo de queima ocorreu a 750°C, 900° C e 1000°C, realizado em laboratório.

Quanto às dimensões a serem adotadas para a produção dos substratos, foram adotadas em função do consumo de material e do espaço físico disponível para execução e acondicionamento dos espécimes.

Em relação à execução do programa experimental, os ensaios de caracterização e de aderência, e produção dos componentes desta pesquisa foram realizados no Laboratório de Materiais e Construção da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo. Ensaios analíticos de caracterização foram realizados nos laboratórios de Metalografia e Metrologia e nos institutos Itt Fuse e Itt Fóssil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo.

Deste modo, os limites da pesquisa são:

- Uso de um único traço básico de chapisco (1:3);
- Teores de substituição do aglomerante por CCA entre 5 e 10%;
- Emprego de três tipos de base;
- Aplicação do chapisco em uma única forma, limitando sua extrapolação para outras formas de aplicação;
- Aplicação da argamassa em uma única forma (caixa de queda), que, da mesma forma, limita a extrapolação para outras formas de aplicação;

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo, é apresentada uma abordagem acerca dos conceitos relativos às argamassas de revestimento. Em sequência, foi discutida a importância do tema, bem como a problemática que envolve o estudo do desempenho de sistemas de revestimento de argamassa, tendo em vista a interface com os substratos a serem adotados, procurando correlacionar conceitos científicos com aplicações tecnológicas de interesse.

### **2.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA**

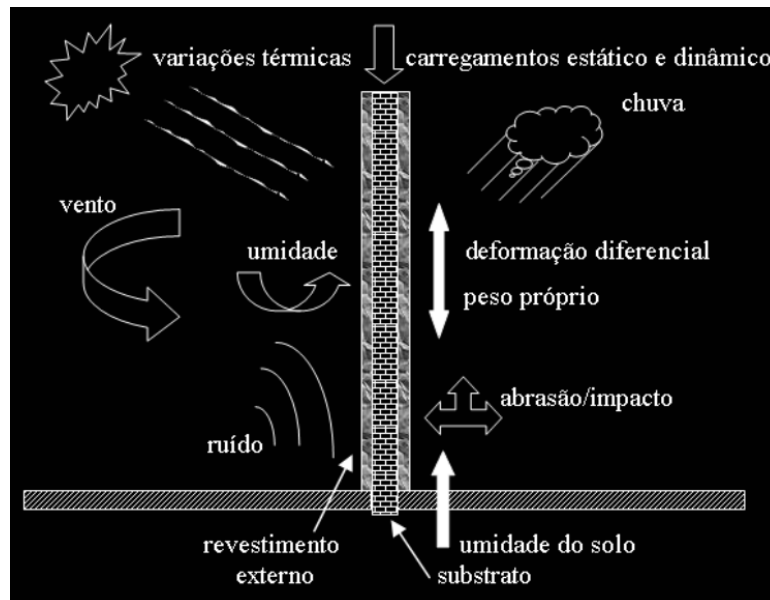
Segundo Araújo Júnior (2004), as vedações verticais são compostas de um sistema de revestimento complexo, com vários elementos. Entre eles, destacam-se: o revestimento externo, substrato de alvenaria ou de estrutura de concreto e o revestimento interno. O subsistema revestimento é parte integrante das vedações verticais e este depende das características da camada de ancoragem, bem como das propriedades da argamassa e também do substrato. No entanto, para os pesquisadores Bauer (2005), Moura (2007), Ruduit (2009) e Gasperin (2011), os revestimentos de argamassa têm tal importância que devem ser tratados como um sistema em si.

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define sistema de revestimento de argamassa como sendo o “conjunto formado por revestimento de argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto”.

Segundo Alves (2002) apud Silva (2005), o sistema de revestimento desempenha uma importante função como parte integrante do edifício, visando à satisfação das exigências dos usuários. Isto, segundo o autor, se dá porque os revestimentos contribuem na alteração das condições ambientais, pelo efeito de barreira à entrada dos agentes externos, pelo controle da entrada de luz e ar, e pela melhoria na estética da fachada, cobrindo as irregularidades da alvenaria. Bauer (2005) observa que o revestimento tem como principais funções proteger e regularizar a superfície em que é aplicado, promover a estanqueidade, finalizar a vedação e proporcionar acabamento estético. Assim, conforme Moura (2007), por exercer estas funções, “a qualidade do sistema de revestimento tem influência direta na habitabilidade das edificações, no que se refere à salubridade, conforto e durabilidade”.

Conforme Leal (2003), ao longo do tempo o desempenho das argamassas de revestimento é afetado por fatores associados às condições de produção, de exposição e à ação dos usuários. De acordo com Cincotto, Silva e Carasek (1995) apud Leal (2003) pode-se

dividir estes fatores em extrínsecos, associados à solicitação externa sobre o sistema de revestimento (ações do meio ambiente, tais como temperatura, umidade, chuvas e ventos dentre outros) e intrínsecos, que dizem respeito às propriedades e aos atributos de materiais, componentes e sistemas, relacionados às condições de superfícies externas. A Figura 1 ilustra os fatores extrínsecos ao sistema de revestimento de argamassa:



**Figura 1 - Fatores atuantes sobre o sistema de revestimento de argamassa**  
(Fonte: Leal, 2003).

Para Leal (2003), entre as manifestações patológicas presentes em sistemas de revestimento, pode-se citar a perda de aderência ao substrato, a baixa resistência à tração, fissuras advindas de tensões de natureza térmica e/ou higroscópica, a retração e a degradação dos materiais constituintes.

Segundo Cardoso, Pileggi e John (2010), nas propriedades finais no estado endurecido, encontram-se os principais requisitos de desempenho dos revestimentos. São esses a porosidade, a resistência de aderência, a resistência à tração, o módulo de elasticidade e a permeabilidade, parâmetros importantes para promover uma durabilidade maior das edificações. Já quando aplicadas no estado fluido, apesar de consistir uma etapa curta e intermediária do processo, o comportamento das argamassas no estado fresco é de fundamental importância para possibilitar uma execução produtiva e isenta de defeitos.

## 2.2 SUBSTRATO

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 1995), base ou substrato é toda superfície, constituída por material inorgânico, não metálico, sobre os quais o revestimento é aplicado.



Conforme afirmam Maciel, Barros e Sabbatini (1998), as diferentes características dos substratos influenciam significativamente nas propriedades do revestimento. A Tabela 5 resume as principais características dos substratos:

**Tabela 3 - Características dos substratos para aplicação de revestimentos.**

Substratos	Características
Alvenaria (diferentes componentes)	Absorção de água
Estrutura de concreto	Porosidade
	Resistência mecânica
	Movimentações higroscópicas
	Movimentações térmicas
	Rugosidade
	Homogeneidade

Para Carasek (1996), Candia e Franco (1998) e Cortez (1999), dentre as características do substrato que mais exercem influência na aderência estão a capacidade de absorção de água, a porosidade e rugosidade do substrato. Para Kazmierczak (2007), essas características, que variam muito entre os componentes do substrato, influenciam diretamente na escolha do tipo de revestimento a ser aplicado nos substratos.

A natureza do substrato determina o desenvolvimento da ligação adesiva argamassa com o substrato: uma textura de superfície áspera ajuda a penetração de fluidos de argamassa nos poros do substrato, a taxa inicial de absorção de água também pode influenciar a relação substrato/resistência de adesão do revestimento (SILVA; FLORES-COLEN; GASPAR, 2013).

### 2.2.1 Substratos cerâmicos

Ao se tratar de substratos cerâmicos, além das propriedades físicas já citadas, é importante ressaltar outros fatores que influem nas propriedades de substratos cerâmicos. Khalaf; Wilson (1999) e Grun (2007) observam que a composição dos materiais e o processo de fabricação afetam nas propriedades dos mesmos. Assim, tanto as características físico-químicas da argila empregada e o processo em que esta é sinterizada, transformam a argila em um material cerâmico rígido e poroso, através de uma complexa série mudanças químicas e físicas.

### 2.2.2 Preparo do substrato

O preparo do substrato consiste nos procedimentos adotados previamente aos revestimentos. Esses procedimentos devem ocorrer em função das características superficiais da base e executado usando materiais e técnicas apropriadas com o intuito de melhorar as condições de aderência do revestimento à base, proporcionando a criação de uma superfície com rugosidade apropriada e regularizando a capacidade de absorção inicial da base (CANDIA; FRANCO, 1998). Para Pereira (2007), o adequado preparo do substrato exerce interferência direta quanto à minimização de fissuras e incremento nas propriedades de aderência.

A Tabela 4 apresenta alguns trabalhos realizados abordando diferentes tipos de preparo para blocos cerâmicos:

**Tabela 4 - Tratamentos adotados em blocos cerâmicos.**

Tipo de base	Tipo de preparo	Autor / Ano
Bloco cerâmico	Solução de cal	(SCARTEZINI, 2002), (SCARTEZINI <i>et al.</i> , 2002), (MOTA <i>et al.</i> , 2009)
	Umedecimento	(CARASEK, 1996), (CARASEK; DJANIKIAN, 1997), (CANDIA; FRANCO, 1998), (SCARTEZINI, 2002), (BASTOS <i>et al.</i> , 2002)
	Chapisco comum	(CANDIA; FRANCO, 1998), (DUBAJ, 2000), (SCARTEZINI, 2002), (SCARTEZINI <i>et al.</i> , 2002), (BASTOS <i>et al.</i> , 2002), (LEAL, 2003), (DUALIBE; CAVANI; OLIVIEIRA, 2005), (MOTA <i>et al.</i> , 2009), (KIELING <i>et al.</i> , 2009), (NAKAKURA; MUNHOZ; BATTAGIN, 2009), (SILVA; GOMES; SANTOS, 2009), (KAZMIERCZAK; BREZEZINSKI; COLLATTO, 2009), (MOTA; OLIVEIRA; DOURADO, 2011), (ARNOLD, 2011); (SILVA, 2011), (HEINECK, 2012)
	Chapisco rolado	(CANDIA; FRANCO, 1998)
	Chapisco comum com adição pozolânica	(MOTA <i>et al.</i> , 2011), (MOTA; OLIVEIRA; DOURADO, 2011)
	Chapisco com polímero	(SCARTEZINI <i>et al.</i> , 2002), (LEAL, 2003), (SILVA, 2011)
	Chapisco industrializado	(LEAL, 2003)
	Chapisco comum projetado	(DUALIBE; CAVANI; OLIVIEIRA, 2005)

Quanto aos resultados obtidos pelos diferentes pesquisadores, é importante salientar que não há como fazer uma comparação quantitativa entre os resultados obtidos, haja vista a grande variabilidade dos fatores influentes nos contextos dos trabalhos. Contudo, é possível observar que todos os tipos de preparo apresentaram efeitos significativos.

Para Groot (1993), em substratos porosos (cerâmicos) com alta absorção de água, o fenômeno da aderência tem efeito positivo com o pré-umedecimento, uma vez que ocorre a

diminuição da sucção de água. Contudo, na prática, o pré-umedecimento quando é realizado e sem uniformidade. Segundo o autor, considera-se ser mais sábio para resolver o problema por meio da alteração da composição de argamassa, com o aumento da sua trabalhabilidade através da retenção de água. Observaram Balayssac *et al.* (2011) em seu trabalho, que tanto a resistência à flexão e o módulo de flexão aumentam quando a argamassa é lançada sobre um substrato úmido.

No trabalho de Carasek (1996), apesar dos resultados satisfatórios quanto à resistência à aderência, observou a pesquisadora que, com características similares dos dois grupos de blocos cerâmicos empregados, obtiveram-se resultados distintos quanto essa propriedade. Através da porosimetria por intrusão de mercúrio, a autora verificou que um dos fatores existentes entre os blocos empregados é o tamanho dos poros dos espécimes.

Quanto ao emprego do chapisco rolado, Macedo *et al.*, (2007) observaram que existe uma tendência de queda da resistência de aderência à medida que se demora mais para aplicar o revestimento de argamassa após o preparo da base com o chapisco rolado. Esta queda da resistência de aderência, segundo os autores, provavelmente pode ser atribuída à formação de um filme polimérico na superfície do chapisco à medida que este fique exposto ao ar. Esta hipótese é reforçada quando se analisa o tipo de ruptura, que tem um aumento percentual de descolamento na interface chapisco/argamassa de revestimento à medida que o chapisco fica exposto por mais tempo.

Bauer (2005) afirma que para os revestimentos de argamassa aplicados sobre uma base ou substrato, deve ocorrer o tratamento prévio do mesmo, com a finalidade de melhorar a resistência de aderência entre o substrato e o revestimento a ser aplicado.

Desse modo, a adoção do tratamento deve ocorrer em função das características superficiais da base. Sua execução se dá pelo uso de materiais e técnicas apropriadas, a fim de melhorar as condições de aderência do revestimento à base, com a consequente formação de uma superfície com rugosidade apropriada e regularizando a capacidade de absorção inicial da base (CANDIA; FRANCO, 1998).

#### 2.2.2.1 Preparo do substrato com chapisco

Conforme a NBR 7200 (ABNT, 1998), deve-se fazer aplicação prévia de argamassa de chapisco, quando a superfície a revestir for parcial ou totalmente não absorvente (de pouca aderência) ou quando a base não apresentar rugosidade superficial. Da mesma forma, a norma europeia EN 998-1 (ECS, 2003) define sistema de revestimento como sendo

uma sequência de camadas de revestimentos aplicadas ao substrato, que pode ser usada em conjunção com uma armação de reforço e/ou um pré-tratamento. Em alguns casos, o pré-tratamento pode ser considerado como uma camada separada no sistema de revestimento.

A NBR 7200 (ABNT, 1998) aborda o termo argamassa de chapisco, como um serviço de preparação da base. Além disso, a NBR 13529 (ABNT, 1995), conceitua argamassa de chapisco como sendo parte constituinte das argamassas de revestimento, com a “finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento”.

Scartezini *et al.* (2002) estudaram o comportamento de diferentes tipos de tratamento de substrato, aplicados sobre uma base de blocos cerâmicos. Os autores verificaram diferenças significativas entre os diferentes substratos, sendo que a base preparada com chapisco comum apresentou uma maior capacidade de absorção de água e também o maior valor de resistência de aderência à tração. Angelim, Angelim e Carasek (2003) observaram que as alvenarias cerâmicas chapiscadas apresentaram diferenças significativas quando comparadas com as sem chapisco. A resistência de aderência obtida foi em torno de 60% superior, quando da comparação desta propriedade em relação às alvenarias sem este tratamento. Da mesma forma, Leal (2003) obteve resultados positivos com o emprego do chapisco comum sobre substratos cerâmicos.

Bauer (2005) afirma que, de uma forma geral, a aplicação do chapisco costuma apresentar valores aceitáveis de aderência, embora ele observe que o desempenho da aderência não dependa especificamente da argamassa de chapisco, mas de outros fatores como, por exemplo, a natureza do substrato. Segundo o mesmo autor, o tipo de chapisco (aberto ou fechado) também apresenta influência no desempenho do sistema. O fechado, confere um fechamento maior da superfície do substrato, com aspecto rugoso e uniforme. Observou o pesquisador que o chapisco minimiza a interferência no transporte de água ao substrato pelo revestimento.

#### 2.2.2.2 Tipos de chapisco

##### a) Chapisco convencional

Esse tratamento superficial consiste em uma mistura de cimento, areia grossa e água, geralmente feita com os traços de 1:2 a 1:4 (em volume), com consistência fluida, lançada com colher de pedreiro (energicamente) contra a superfície a ser revestida (PRETTO, 2007). Segundo Leal (2003) o chapisco pode ser confeccionado com um traço em volume de

1:3 (cimento: areia grossa). Essa dosagem, para Bauer (2005), possui significativo consumo de cimento, em razão das propriedades que o chapisco deve apresentar.

Conforme a NBR 7200 (ABNT, 1998), o chapisco deve ser curado por 3 dias antes da aplicação da próxima camada de revestimento.

b) Chapisco industrializado rolado

O chapisco rolado constitui-se numa argamassa com aditivos poliméricos, aplicado com rolo para textura acrílica, cujo traço em volume é, geralmente em 1:5 (cimento: areia fina). (SILVA, 2006). Esse tipo de revestimento apresenta-se como alternativa ao chapisco comum, uma vez que não há ocorrência do rebote do material quando da aplicação. Contudo, observa-se que esse material apresenta tendência de queda de resistência à aderência (MACEDO *et al.*, 2007).

Segundo Candia e Franco (1998), no estudo realizado sobre técnicas de preparo da base, observou-se que esse tipo de chapisco apresentou maior produtividade em relação ao chapisco industrializado e comum. Ceotto, Banduk e Nakakura (2005) indicam seu uso em alvenaria e estrutura de concreto internamente, em que a superfície resultante deve ser rugosa e porosa

c) Chapisco industrializado desempenado

Para Pretto (2007), chapisco industrializado é uma camada de preparo aplicada com argamassa adesiva sobre a superfície a ser revestida, com desempenadeira dentada. Consiste num tipo de chapisco indicado apenas para bases de concreto, haja vista o alto consumo do material, com elevado custo. No estudo realizado por Pereira (2007), em que foi empregada desempenadeira dentada de 8 x 8 mm, observou-se também, que esse tipo de preparo igualmente como sendo mais adequado para estruturas em concreto (com superfície lisa e pouco porosa). Da mesma forma, Candia e Franco (1998) já haviam concluído que sobre substratos de concreto, esse tipo de chapisco apresenta maiores resultados quanto à aderência, juntamente com o chapisco comum, alertando da necessidade de maior controle durante a sua produção. Ceotto, Banduk e Nakakura (2005) afirmam que sua aplicação deve ser realizada conforme especificações do fabricante, e, em qualquer situação, o chapisco deve ser inspecionado quando atingir a idade mínima de 7 dias.

### 2.2.3 Porosidade do substrato

Carasek (1996) conceitua porosidade como a relação entre o volume de vazios e o volume total do material. Para a autora, são de interesse no mecanismo de aderência os poros

capilares, disponíveis para succionar a água das argamassas. No que tange aos poros não capilares e cavidades fechadas não há relação com aderência de argamassas.

Para Barbosa; John; Pileggi (2009), a interação entre a argamassa sobre uma superfície porosa absorvente está definida em quatro etapas bem definidas: molhagem do substrato pelo contato com a argamassa e ocorrência da sucção capilar; transporte de materiais finos para a interface devido ao fluxo capilar; equilíbrio da umidade entre o substrato e a argamassa e por fim, hidratação do cimento e formação de uma fase sólida coesiva entre o substrato e a argamassa.

Quanto à porosidade superficial do substrato, Bauer (2005) afirma ser fundamental esta característica, certo que esta influencia no transporte de água, especialmente nos momentos iniciais pós-aplicação. A movimentação da água presente no revestimento para o substrato atua diretamente na aderência do revestimento no substrato. Neste sentido, a absorção de água do substrato também contribui para perda de água da argamassa (PAES; BAUER; CARASEK, 2005).

Quanto ao transporte de água da argamassa para o substrato, no trabalho de Bauer *et al.* (2012), observou-se que as menores intensidades desse fenômeno são influenciadas por arranjos de grãos mais finos em função da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Os substratos com elevada absorção de água da argamassa, aliada à evaporação na face livre do revestimento, nos instantes iniciais à aplicação, podem proporcionar microfissuras na interface argamassa/substrato, devido à retração plástica, e conseqüente perda da aderência. Por outro lado, bases com baixa absorção de água, podem gerar condições desfavoráveis, em que ocorre uma fina camada de água na interface, ocasionando uma condição bastante porosa (BAUER, 2005).

Assim, conforme Gonçalves (2004), a microestrutura de poros afeta o grau de absorção de água da argamassa, proporcionando ou não, a ancoragem mecânica do compósito pela dissolução dos produtos de hidratação do cimento nos poros do substrato. Por outro lado, a diferença entre a porosidade e absorção dos substratos dificulta a execução de revestimentos, haja vista o comprometimento da aderência, e a conseqüente fissuração do sistema (RECENA, 2011).

A soma da porosidade aberta (poros intercomunicados, que determinam a absorção de água do material) e porosidade fechada, onde a água não consegue penetrar, consiste na a porosidade total (porosidade aparente) de um material. Quanto maior a

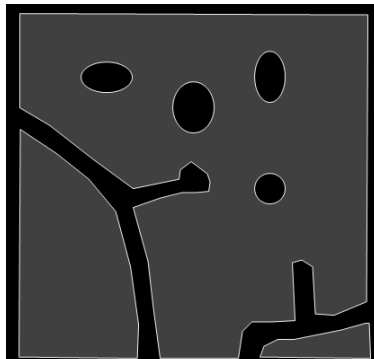
porosidade, mais fácil foi a sua penetração por líquidos e vapores. O excesso de penetração de água pode trazer consequências danosas à resistência do material. A absorção de água do material é um parâmetro utilizado para medir a porosidade aberta (CAMPREGHER, 2005; KAZMIERCZAK, 2007).

Metha e Monteiro (2006) classificam a estrutura de poros, conforme suas dimensões da seguinte forma:

- a) Microporo – diâmetro inferior a  $0,1 \mu\text{m}$ ;
- b) Poro capilar – diâmetro de  $0,1 \mu\text{m}$  a  $1 \mu\text{m}$ ;
- c) Macroporo – diâmetro superior a  $1 \mu\text{m}$ ;
- d) Cavidades fechadas – poros não acessíveis;

De fato, a autora relata que apenas os poros capilares são os que têm capacidade de succionar a água presente nas argamassas e por esta razão consiste naqueles relacionados ao estudo dos mecanismos de aderência.

A Figura 2 ilustra os poros existentes em materiais cerâmicos:



**Figura 2 - Porosidade aberta e fechada em cerâmicas (Adaptado: Collatto, 2008).**

Da mesma forma, Carasek (1996) observou a distribuição do tamanho dos poros em substratos cerâmicos empregados, conforme a Tabela 5:

**Tabela 5 - Características dos substratos para aplicação de revestimentos**

Substratos	Porosidade total	Distribuição dos tamanhos dos poros				
		Diâmetros equivalentes em $\mu\text{m}$				
		<0,1	0,1 - 1	1 - 10	10 - 100	>100
Cerâmico*	30	0	3	26	65	6
Cerâmico "S"		2,9	83,5	5	8,6	
Cerâmico "T"		5	83,4	3,6	8	

\*Whiteley et al 1977, apud Carasek, 1996 / Carasek, 1996.

A estrutura interna da interface do substrato poroso tende a variar de acordo com a estrutura de poros, o grau de saturação do substrato, e as trocas e transporte no mesmo. Os poros das unidades de alvenaria variam na forma e na textura interna; os poros das unidades cerâmicas podem se assemelhar a condutos cilíndricos de textura suave (GALLEGOS, 1995).

O proporcionamento dos materiais utilizados na execução das argamassas influencia o transporte de água desta para o substrato poroso. Como o transporte de água é diretamente influenciado pela interação entre os poros da argamassa e os do substrato que realmente contribuem para a sucção de água, a quantidade maior de poros de pequenos diâmetros no interior da argamassa ajuda a reter mais água em seus interstícios e, por conseguinte, uma menor quantidade de água transportada para o interior do substrato, principalmente nos primeiros 60 minutos (PAES, 2004). No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação de hidratação do cimento e cal e posterior ancoragem dos precipitados intracapilares. (CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI, 2001; LEAL, 2003)

#### 2.2.3.1 Métodos de avaliação de transporte de água livre em materiais porosos

Segundo Lange; DeFord; Werner (1999), a limitação do uso de métodos de absorção de água como um indicativo de previsão da eficiência da aderência se deve ao fato de que ele não considera a interação entre a argamassa e o substrato, ocorrendo apenas a interação entre o substrato e a água livre disponível. A sucção de água livre pela superfície de um substrato é diferente da sucção de pasta da argamassa por estes mesmos substratos.

Contudo, estudos realizados por Paes (2004) Honório; Carasek (2009), Honório; Carasek, (2010) e Pagnussat (2013) mostram que os métodos de absorção são bons indicadores do comportamento de aderência da argamassa ao substrato, mas insuficientes para determinar esta propriedade.

Dentro deste contexto, nesta pesquisa foram empregados métodos de análise que, de forma direta e indireta, possibilitam estimar a porosidade através da rede de poros do material.

##### a) Determinação do índice de absorção de água inicial (indireto)

O índice de absorção, prescrito na NBR 15270-3, permite definir a quantidade de água que um bloco é capaz de absorver e tem como objetivo ser um indicador de qualidade. O índice representa a proporção, em relação a sua massa, que um bloco é capaz de absorver. Esse é um indicador importante, pois a penetração de água e outros agentes agressivos por absorção acarretam em várias manifestações patológicas (DÉSIR, 2013).



Para a determinação do índice absorção de água inicial (AAI) para os blocos cerâmicos, é necessário obter a absorção de água a 24h (AA) e área líquida ( $A_{liq}$ ).

O índice de absorção de água (AA) é calculado de acordo com a expressão:

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

AA (%): índice de absorção de água, expresso em porcentagem;

$m_u$ : massa úmida, em gramas;

$m_s$ : massa seca; em gramas.

A determinação da área líquida ( $A_{liq}$ ) foi utilizada para a obtenção do índice de absorção inicial:

$$A_{liq} = \frac{(m_u - m_a)}{\gamma \times H} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$A_{liq}$ : área líquida, em centímetros quadrados, com aproximação decimal;

$M_u$ : massa úmida do bloco saturado, em gramas;

$M_a$ : massa aparente do bloco, em gramas;

H: altura do bloco, em centímetros;

$\gamma$ : massa específica da água, tomada igual a um, em gramas por centímetro cúbico.

O índice de absorção de água inicial (AAI) é calculado de acordo com a expressão:

$$AAI = 193,55 \times \frac{\Delta p}{A_{liq}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

AAI: índice de absorção d'água inicial (sucção) da face ensaiada dos blocos, expresso em (g/193,55cm<sup>2</sup>) /min;

$\Delta p$ : a variação de massa obtida no ensaio, em gramas;

$A_{liq}$ : área líquida dos blocos ensaiados, em centímetros quadrados.

Observa-se que o índice obtido não deve ser inferior a 8%, nem superior a 22%.

No trabalho realizado por Paes, Bauer e Carasek (2003), observa-se que as características de absorção de água dos blocos cerâmicos absorve uma maior quantidade de água. Este fato reforça a ideia de que a absorção inicial de água pode não representar com fidelidade o comportamento absorvente da umidade da argamassa fresca pelo substrato, ao longo do tempo.

Entre os problemas atribuídos aos substratos, provavelmente os principais sejam a falta de superfície rugosa e porosidade excessivamente baixa. Segundo Ruduit (2009), um substrato de baixa absorção promove um acúmulo de água na interface, que ocasiona na argamassa uma zona de maior porosidade e conseqüentemente, mais frágil.

b) Determinação porosidade por absorção de água por capilaridade

A determinação da absorção de água por capilaridade (absortividade) apresentada por Gummerson; Hall; Hoff (1980) baseia-se no princípio de ganho de massa em materiais cerâmicos não saturados, ao longo do tempo, por meio de sucção capilar. Reda Taha; El-Dieb; Shrive (2001) observaram que o método apresenta bons indicadores em blocos cerâmicos, tecendo uma crítica sobre o método de absorção inicial de água (IRA) quanto às questões de tempo de imersão da amostra em água.

O coeficiente de absorção de água capilar é calculado de acordo com a expressão:

$$w = \frac{W}{\sqrt{t}}$$

**Equação 4**

Onde:

w: coeficiente de absorção de água, em Kg/m<sup>2</sup>.min<sup>-1/2</sup>;

W: absorção superficial de água, em Kg/m<sup>2</sup>;

t: tempo, em minutos.

Segundo Honório; Carasek (2009) o ensaio de determinação de absorção de água por capilaridade, ainda não normalizado no país, apresenta vantagens como avaliar a absorção em tempos superiores a 1 minuto e de forma contínua, conforme ilustra a Figura 3:

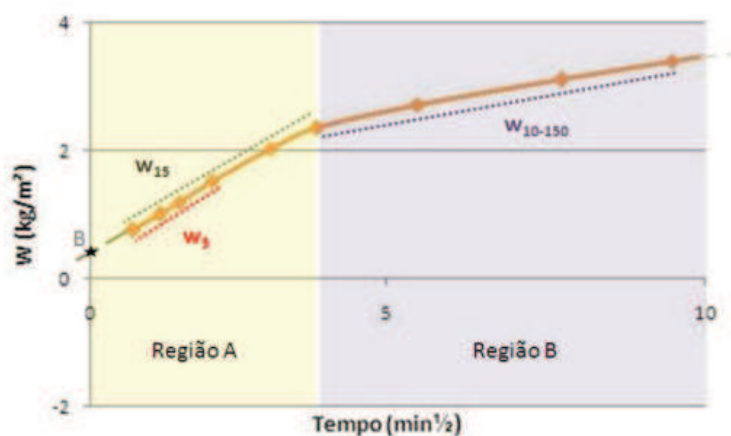


Figura 3 - Curva de absorção capilar - Honório; Carasek (2010).

c) Determinação porosidade por intrusão de mercúrio (método direto)

A porosimetria por intrusão de mercúrio é um método para a caracterização da estrutura de poros de materiais. Trata-se técnica que permite a quantificação do volume dos poros, o raio médio de poro e da distribuição do tamanho de poros, que são acessíveis ao mercúrio (SOLTANI, 2010).

A porosimetria por intrusão de mercúrio é uma técnica muito empregada para quantificar os poros existentes em um material, pois a rede de poros pode ser penetrada pela intrusão do mercúrio. Contudo essa técnica não pode indicar a forma dos poros ou a sua posição (ELAQRA *et al.*, 2007).

Segundo Paes, Bauer e Carasek (2005), os resultados da porosimetria por intrusão de mercúrio são apresentados de duas formas:

- volume de mercúrio incremental versus diâmetro dos poros: indica, por meio do volume de mercúrio intrudido, a quantidade de poros de um determinado diâmetro; e
- volume de mercúrio acumulado versus diâmetro dos poros: mostra a quantidade total de mercúrio intrudido, por unidade de massa da amostra, a um determinado nível de pressão atingida durante o ensaio, representando a porosidade do material até o diâmetro do poro correspondente.

O perfil de distribuição poros é obtido pela equação de Washburn:

$$D = - \frac{4\sigma \cos \theta}{p}$$

Equação 5

Onde:

D: diâmetro do poro, em  $\mu\text{m}$ ;

$\sigma_s$ : tensão superficial do mercúrio (480 dinas/cm);

$\theta$ : ângulo de contato mercúrio/superfície sólida (~130°);

p: pressão aplicada, em psi.

d) Determinação de porosidade por propagação de ondas ultrassônicas (indireto)

Para Marques, Laginha e Costa (2012) esse ensaio é empregado para avaliar a uniformidade e qualidade de materiais porosos, uma vez que através desse ensaio é possível detectar a presença qualitativa de descontinuidades e defeitos internos nos mesmos.

Para determinar a velocidade de propagação de um pulso ultrassônico dentro de um material são utilizados equipamentos capazes de medir o tempo necessário de propagação do pulso de alta frequência de um ponto a outro da amostra. Através da distância entre os transdutores, divide-se o tempo percorrido pela onda, através do aparelho, que resulta na velocidade média do pulso ultrassônico ao longo do seu percurso (PERLIN, 2011).

A velocidade média do pulso ultrassônico é dada pela equação:

$$v = \frac{d}{t}$$

**Equação 6**

Onde:

v: velocidade da onda ultrassônica, em km/s;

d: distância percorrida pela onda entre os transdutores, em km;

t: tempo em que a onda ultrassônica percorre a distância entre os transdutores, em segundos;

#### **2.2.4 Rugosidade do substrato**

A rugosidade superficial é definida como um conjunto de irregularidades, fundamentalmente saliências e reentrâncias, que caracteriza uma determinada superfície. (PARRA *et al.*, 2006)

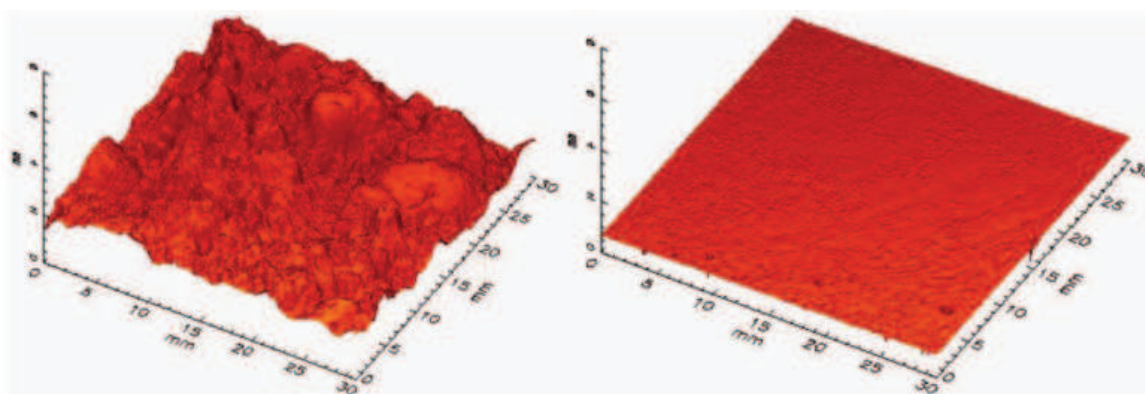
Para Bauer (2005), a textura do substrato (rugosidade superficial) é uma característica importante no desenvolvimento da aderência, uma vez que propicia pontos de ancoragem para as argamassas aplicadas.

Substratos rugosos e com poros abertos apresentam maior superfície de contato e permitem maior intertravamento do revestimento à base (ANTUNES, 2010). Quanto maior

porosidade e presença de cavidades, mais facilitada é a penetração da pasta aglomerante da argamassa junto ao substrato (CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI, 2001; PAES, 2004).

Texturas extremamente lisas (de baixa rugosidade) reduzem o coeficiente de atrito superficial, em função da menor área de contato existente entre a superfície do revestimento cerâmico e a superfície em contato (PARRA *et al.*, 2006).

O aumento das irregularidades da superfície geométrica do substrato conduz ao aumento na área de superfície que possa entrar em contato com a área de superfície de argamassa. No entanto, a presença da rugosidade pode também conduzir a uma não impregnação do suporte com a argamassa. As bolhas de ar podem existir na interface entre os dois materiais que limitam a superfície de contato entre os dois materiais. Essa superfície de contato, fundamental para a obtenção de uma boa adesão, é indiretamente afetada pela rugosidade (MAUROUX, 2011).



**Figura 4 - Perfis de rugosidade obtidos por triangulação laser para a superfície de concreto tratado por jato de areia (à esquerda) e uma superfície não tratada (à direita) (Muller et al. (2006) apud Mauroux (2011)).**

Duas classes de perfil para o mesmo substrato são geralmente definidas de rugosidade: a rugosidade macroscópica denominada "ondulação", cujo comprimento de onda varia de milímetros a centímetros, e a rugosidade microscópica, cujos comprimentos de onda vão desde alguns microns até milímetros. Devido ao grande número de parâmetros que descrevem a rugosidade e o complexo papel desempenhado pela rugosidade tanto a molhabilidade e as áreas de superfície dificultam a determinação do seu impacto sobre a adesão. Pesquisas sobre o assunto inserem-se a estudos comparativos entre diferentes tratamentos de superfície e seu impacto sobre a rugosidade e aderência, mas sem quantificar o impacto de um sobre o outro. Qualitativamente, no entanto, é geralmente aceito que a rugosidade promove a adesão (MAUROUX, 2011; GALLEGOS, 1995).

#### 2.2.4.1 Método de avaliação de rugosidade

##### a) Determinação da rugosidade superficial por perfilômetro

Mauroux (2011) relata que forma geométrica, posição e magnitude da rugosidade da superfície para o mesmo perfil são altamente incertas. Os dados obtidos por perfilometria devem ser processados para obtenção de parâmetros que descrevam a rugosidade. Uma abordagem consiste em estudar a distribuição estatística da altura das asperezas da superfície.

Para a quantificação da rugosidade de uma superfície, emprega-se, comumente um perfilômetro. Segundo Parra *et al.* (2006) “esse equipamento utiliza um apalpador de ponta fina, posicionado sobre a amostra”. Os movimentos gerados pelo equipamento são transformados em sinais elétricos e convertidos, posteriormente, para a quantificação da rugosidade ( $\mu\text{m}$ ) e a determinação de parâmetros como a rugosidade média ( $R_a$ ). Rosa e Marini (2011) afirmam que no Brasil é adotado o sistema de linha média ( $R_a$ ). Este sistema consiste na mensuração da “linha paralela à direção geral do perfil, no comprimento da amostragem, de tal modo que a soma das áreas superiores, compreendidas entre ela e o perfil efetivo, seja igual à soma das áreas inferiores, no comprimento da amostragem”.

### 2.3 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

A NBR 13281 (ABNT, 2005) estabelece como conceito para argamassa de revestimento, uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, podendo conter ou não aditivos com propriedades de aderência e endurecimento, sendo dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Haja vista a grande variedade de problemas, as argamassas apresentam certas dificuldades para o seu uso correto, os quais são atribuídos a fatores como: deficiência de mão de obra, projetos inadequados, equipamentos incompatíveis, a não adoção de metodologias de controle e os materiais usados na produção de argamassas (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Segundo Silva (2006), as funções básicas dos revestimentos são muito genéricas e variam enormemente de caso a caso. O que é necessário são parâmetros e critérios técnicos que traduzam essas funções em especificações de valores e faixas que possam ser mensuradas e ensaiadas.

A partir do momento em que o material cimentício é aplicado à base, ocorrem mudanças consideráveis, devido à redução da sua água da mistura inicial. Os fenômenos principais que estão na origem da diminuição de conteúdo de água, são a evaporação de água

em relação ao ambiente externo, a sucção de água pelo substrato e o consumo de água pelo processo de hidratação (AMBA; BALAYSSAC; DÉTRICHÉ, 2009).

Para Cardoso, Pileggi e John (2005), a aplicação das argamassas no estado fluido, mesmo sendo uma etapa intermediária do processo, tem no comportamento no estado fresco fundamental importância para possibilitar uma moldagem fácil e isenta de defeitos, minimizando a ocorrência de manifestações patológicas nos revestimentos após o endurecimento (fissuras, descolamento e manchas).

#### **2.4 INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO**

Além dos fatores de porosidade e rugosidade na ancoragem da argamassa nos substratos, outro fator determinante para o desempenho do sistema de argamassa, é a conformação da microestrutura da interface substrato/revestimento, tanto como resultado do transporte de água quanto em função da extensão de aderência (MOURA, 2007). Jennings *et al.* (2000) também indicam que o tipo de cimento, o traço da mistura, o teor incorporado e a retenção de água das argamassas são fatores que afetam a interação entre o substrato e a argamassa.

Segundo Mauroux (2011), o vínculo existente entre o substrato e o revestimento geralmente é explicado por duas teorias diferentes, com comportamentos complementares: O primeiro mecanismo é de natureza mecânica e é designado pelo termo intertravamento mecânico. O intertravamento mecânico origina impregnação de argamassa fresca nas irregularidades do substrato, e o endurecimento progressivo do material conduz intertravamento do material com a base. O segundo mecanismo, designado teoria adsorção, de caráter físico-químico, está relacionado com interações intermoleculares criadas na interface entre dois materiais e apresenta os principais tipos de ligações que podem ocasionar a adesão. No caso de materiais cimentícios, as principais ligações criadas são explicadas pelo princípio de "Van der Waals". Essas ligações, que podem atuar em conjunto, são altamente dependentes da natureza físico-química dos materiais em contato. A Figura 5 ilustra os mecanismos de aderência:

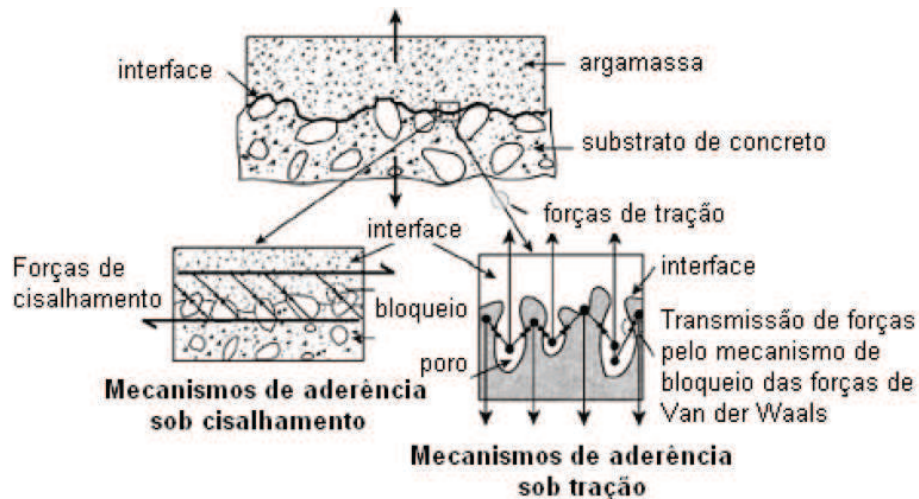


Figura 5 - Mecanismos de aderência mecânica (Fonte: adaptado por Pretto, 2007).

A teoria da adsorção, que compreende a aderência por adsorção, é a mais aplicável aos diversos casos de materiais, e propõe que os mesmos irão aderir devido às forças interatômicas e intermoleculares que são estabelecidas nas superfícies dos adesivos e substratos após um contato molecular íntimo (GONÇALVES, 2004). Nesse sentido, as forças de “Van der Waals”, as ligações entre os materiais são secundárias, em que não há transferência de elétrons. A atração “depende das distribuições assimétricas de cargas positiva e negativa dentro de cada átomo ou de uma unidade molecular sendo ligada” (CASCUDO, 2007).

Para Mauroux (2011), os meios em que são aplicados os revestimentos de argamassa são geralmente materiais porosos (bloco cerâmico e concreto). Quando em contato com a argamassa no estado líquido, o desequilíbrio hídrico pode existir entre os dois materiais e provocar a troca de água através da interface. O papel desempenhado por essa interação na criação da ligação entre os dois materiais é ambivalente: eles podem ajudar a ligar os dois materiais, mas alteram o teor de água da camada de argamassa ligada ao substrato. A presença da rede capilar porosa induz a aspiração e penetração de uma porção da fase líquida da argamassa no estado fresco ao suporte. Assim, conforme Gallegos (1995), a microestrutura da argamassa formada na interface do substrato tem a relação água/cimento alterada após a sua aplicação em razão das propriedades características da argamassa e do substrato.

Na interação da argamassa com o substrato, tem-se a teoria dos poros ativos. Observa-se, nesta teoria, que o fluxo de água entre a argamassa e o substrato, é entendido como a interação de dois sistemas de poros (CARASEK, 1996).



Segundo essa teoria, a água movimenta-se da argamassa para o substrato enquanto os raios médios dos capilares da argamassa forem superiores aos do substrato, causando a diminuição do raio médio dos capilares de argamassa. O fluxo de água cessa no momento em que os raios médios dos dois materiais tornam-se iguais. Por outro lado, inverte-se quando os raios médios da argamassa forem menores que os do substrato. Somente serão ativos os capilares do substrato que tiverem raio médio menor que os capilares da argamassa (PARAVISI, 2008). Conforme Mauroux (2011), a pressão capilar resulta na formação de um menisco de solução nos poros da superfície de argamassa. A área efetiva entre os dois materiais pode, assim, aumentar as áreas de ligações químicas e efeitos de intertravamento mecânico.

Por outro lado, segundo Mauroux (2011) a absorção da pasta da argamassa conduz a um empobrecimento da água a partir da camada de argamassa em contato com o suporte. Este fenômeno limita a água disponível para a hidratação da interface de argamassa. No caso de materiais cuja taxa de absorção de água é elevada, pode-se observar que o grau de hidratação da argamassa é muito inferior ao substrato. A falta de hidratação da argamassa na interface também conduz à presença de espaços vazios entre os dois materiais, diminuindo a sua superfície de contato.

Carasek (1996) mostra que a aderência, no caso de substratos cerâmicos, é um fenômeno mecânico que decorre principalmente do intertravamento dos cristais de etringita da pasta de cimento no interior dos poros do substrato. A ruptura macroscopicamente da argamassa não ocorre nessa região rica em etringita, mas no interior da argamassa em uma camada muito próxima à região de contato com o substrato (paralela cerca de 50 a 200  $\mu\text{m}$ ). Explica-se esse fenômeno pela falta de coesão da argamassa junto à região de contato. A Figura 6 ilustra o mecanismo de aderência na interface argamassa / substrato:

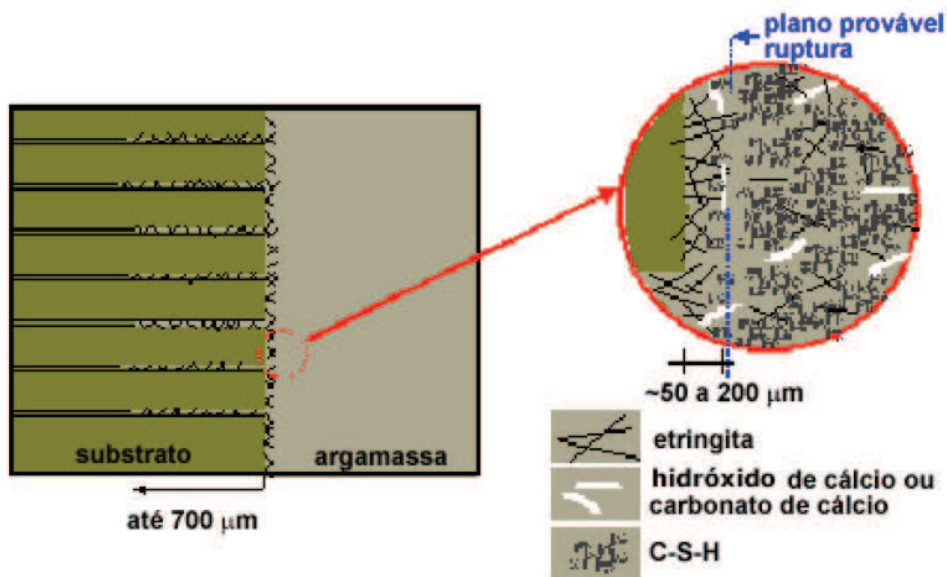


Figura 6 - Mecanismos de aderência entre argamassa e substrato (Fonte: Carasek, 1996).

Conforme ilustra Figura 6, Carasek (1996) identificou três produtos de hidratação através do estudo em MEV, identificados como: gel de C-S-H, hidróxido de cálcio e carbonato de cálcio. Esses produtos parecem estar apenas depositados na superfície do substrato, sem evidências de penetração deles no interior dos poros do substrato.

## 2.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA DE CHAPISCO

Atualmente, o chapisco é reconhecidamente tratado pela literatura como um dos procedimentos adotados para o preparo da base. São poucos os estudos realizados para caracterizar os chapiscos. Nessa pesquisa, assume-se o chapisco pelas suas características de constituição, como uma argamassa de cimento Portland. Para tanto, foram contempladas as propriedades características das argamassas afins com as argamassas de chapisco.

Num contexto geral, os fatores que influenciam no desempenho dos revestimentos de argamassa são principalmente as características reológicas, as características superficiais das bases ou substratos, as técnicas de execução e as condições ambientais do local onde se executa o revestimento. Os estudos realizados sempre visaram o material (argamassa) sem relacioná-lo com os outros fatores (substrato, técnicas de execução, etc.) que também influem no desempenho dos revestimentos (CANDIA; FRANCO, 1998).

A Tabela 6 apresenta os requisitos de desempenho de argamassas de revestimento elaborados pelo Comitê 13-MR da RILEM citada por Araújo (1995);

**Tabela 6 - Lista de propriedades indicadas pelo Comitê 13-MR da Rilem, como requisitos de desempenho (Saretok 1977 apud Araújo 1995).**

Propriedades no Estado Fresco	Propriedades no Estado Endurecido
Trabalhabilidade	Textura e cor
Consistência	Fissuração
Coesão	Aderência (tração e cisalhamento)
Tixotropia	Resistência superficial
Exsudação de água	Retração de secagem, movimentos térmicos e higroscópios
Retenção de água	Teor de umidade de equilíbrio e teor máximo de umidade
Endurecimento	Absorção de água
Retenção de consistência	Permeabilidade à umidade
Adesão inicial	Resistência ao congelamento
	Estabilidade
	Condutibilidade térmica
	Resistência ao fogo

### 2.5.1 Estado fresco

O comportamento das argamassas no estado fresco (plástico) tem elevada importância para moldagem e minimização de manifestações patológicas no estado endurecido (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005). Conforme reforça Arnold (2011), a reologia é estudo do comportamento das argamassas em estado fresco. Os parâmetros analisados na reologia são: a trabalhabilidade, a consistência, a coesão, a tixotropia, a exsudação e retenção de água, o endurecimento, a retenção de consistência e a adesão inicial.

A retenção de água, segundo Carasek (2007), consiste na capacidade da argamassa fresca manter-se hidratada e com trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água. Uma adequada retenção de água influi diretamente nas propriedades de aderência, resistência mecânica e durabilidade, uma vez os processos químicos de endurecimento dos aglomerantes dependem dessa água retida.

Para Bauer (2005), na adesão inicial ocorre uma momentânea aderência da argamassa ao substrato. Nesse processo ocorre a adsorção e difusão de moléculas da argamassa na superfície dos poros do substrato. Consiste em uma “propriedade da argamassa no estado fresco que descreve sua capacidade de se manter aderida sobre a superfície sobre a qual é lançada imediatamente após o lançamento, resistindo aos esforços mecânicos a que é submetida no processo de conformação e de produção do acabamento superficial” (BONIN, 2009).

Em revestimentos é necessária esta adesão entre a argamassa e o substrato, principalmente para evitar a ocorrência de acidentes (desplacamento do revestimento), além de prejuízos de ordem financeira (BARBOSA, 2010).

Segundo Cortez (1999), adesão inicial depende concomitantemente das características da porosidade do substrato (taxa de absorção de água) e de um tratamento prévio do substrato que aumente a superfície de contato e/ou a rugosidade entre os materiais, a fim de reduzir a tensão superficial e o ângulo de contato.

### **2.5.2 Estado endurecido**

Entre as propriedades específicas referentes aos revestimentos para que possam cumprir adequadamente suas funções, destaca-se no estado endurecido das argamassas a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica (DUBAJ, 2000). Para Araújo Junior (2004), a permeabilidade e a durabilidade também perfazem propriedades importantes no estado endurecido das argamassas.

#### **2.5.2.1 Retração de secagem**

Um aspecto fundamental relacionado à durabilidade das argamassas e às propriedades no seu estado endurecido é a retração. O efeito físico de retração está associado a uma deformação na estrutura da pasta hidratada, decorrente de fenômenos de diferentes naturezas (BASTOS, 2001). A principal causa da retração é a perda de água da pasta de cimento, através da evaporação ao ambiente e da sucção do substrato. Além disso, ao fenômeno de retração estão associados à sedimentação, segregação e hidratação do cimento. Pode-se afirmar que esta característica é influenciada pelas condições de temperatura, incidência solar e umidade relativa do ar (CORTEZ, 1999).

Para Scartezini (2002), materiais de base cimentícia estão sujeitos ao fenômeno físico da retração, em que o volume inicialmente ocupado pelo material no estado plástico diminui. As características dos compostos de cimento influem diretamente na ocorrência de problemas patológicos nas edificações, como a fissuração, que, compromete a estética e afeta a durabilidade do revestimento de argamassa.

A fissuração, como manifestação patológica de maior incidência, está diretamente relacionada à aderência das argamassas, uma vez que esta última fica comprometida pela primeira. (CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI, 2001; PEREIRA, 2007; SILVA; GLEIZE; GOMES, 2009; RECENA, 2011)

#### **2.5.2.2 Módulo de elasticidade**

Genericamente, o módulo de deformação define a capacidade de uma argamassa de se deformar. (SILVA; BARROS; MONTE, 2009)

Pedro (2011) afirma que o módulo de elasticidade é a relação entre uma força que atua sobre uma determinada área de um corpo e a deformação unitária que este alcança. É um parâmetro que exprime a capacidade de uma argamassa para se deformar. Quanto menor for o seu valor, maior é a deformabilidade de uma argamassa. Para a obtenção de um revestimento pouco suscetível à fissuração, é conveniente que este apresente um módulo de elasticidade reduzido.

Conforme Bauer (2005), ao aumentar o consumo de cimento, obtém-se um aumento no módulo de elasticidade das argamassas, acarretando no incremento da rigidez do compósito. Por essa razão, as argamassas apresentam menor capacidade de deformação e estão sujeitas à fissuração. Por outro lado, tendo em vista atingir uma aderência superior, emprega-se mais cimento. Assim, ocorre um conflito entre estas duas propriedades desejadas.

O módulo de elasticidade dinâmico é determinado com equipamento “Pundit” (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester), obtido segundo os procedimentos da NBR 15630 (ABNT, 2009).

O módulo de elasticidade ( $E_d$ ) é determinado através do método dinâmico, de acordo com a seguinte equação:

$$E_d = v^2 \cdot \rho \frac{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$E_d$ : módulo de elasticidade dinâmico, expresso em megapascal (MPa);

$v$ : velocidade de propagação da onda ultrassônica, expressa em milímetros por micro segundos (mm/ $\mu$ s);

$\rho$ : densidade de massa aparente do corpo de prova, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

$\mu$ : coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação o valor de 0,2.

### 2.5.2.3 Permeabilidade

A propriedade da permeabilidade está relacionada com a porosidade, mais especificamente, com a conectividade e distribuição das dimensões dos poros. Essa é uma das variáveis que mais influem na durabilidade em materiais cimentícios, uma vez que há a probabilidade de ocorrer o início da sua degradação através da penetração de fluidos

agressivos O uso de pozolanas propicia o refinamento dos poros e conseqüente a permeabilidade de água e outros fluidos (PETRY, 2004).

Conforme Petry (2004), os poros possuem diversas origens, alguns são ocasionados pelos produtos de hidratação dos compostos cimentícios, outros são originadas pelo ar aprisionado durante a operação de lançamento do compósito cimentício, pela evaporação da água utilizada em excesso na fabricação da mistura ou ainda são devidas as microfissuras resultantes da exsudação, retração por secagem, expansão térmica e cura inadequada. Por tanto, quanto maior a quantidade de água adicionada à mistura e quanto menor o grau de hidratação da mesma, maior foi a porosidade.

Com a evolução da hidratação, a porosidade vai diminuindo e os vazios vão sendo preenchidos pelos produtos da hidratação do cimento (HOPPE, 2005).

#### 2.5.2.4 Resistência mecânica

Em termos de propriedades de revestimento de argamassas com maior resistência à compressão e à tração são geralmente associadas a argamassas com maior capacidade de aderência, uma vez que estas propriedades podem ser relacionadas de forma indireta (SILVA; FLORES-COLEN; GASPAR, 2013).

Nos revestimentos, a capacidade de deformação das argamassas tem sua deformação restringida pela aderência à base. Ocorre nessa situação um complexo estado de tensões, pois caso a deformabilidade da argamassa não for correspondente, a mesma poderá comprometer o desempenho do sistema de revestimento (SILVA; BARROS; MONTE, 2009).

#### 2.5.2.5 Aderência

A aderência consiste em uma das mais importantes e relevantes propriedades relacionadas ao desempenho final dos sistemas de revestimento (CANDIA; FRANCO, 1998; SCARTEZINI, 2002; LEAL, 2003; GONÇALVES, 2004; BAUER, 2005).

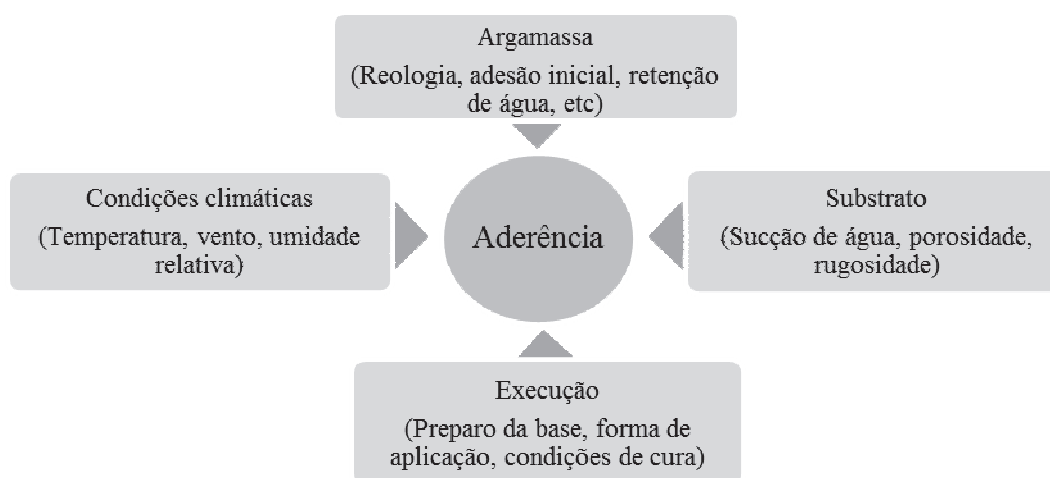
Carasek (2007) afirma que a aderência representa as propriedades de resistência e a extensão do contato entre o revestimento e o substrato. Para Ruduit (2009) uma das dificuldades encontradas na aplicação de revestimentos de argamassa está relacionada às características das superfícies dos substratos.

Segundo Cardoso, Pileggi e John (2010), a falha de aderência é um dos fenômenos mais frequentes e graves entre as manifestações patológicas de revestimentos. Esse problema, segundo os autores, “causa prejuízos financeiros (e de imagem) a fabricantes

de insumos, construtores e usuários, restringindo a utilização dos produtos e oferecendo risco à população”.

Os fatores que influenciam no comportamento de aderência de argamassa têm diferentes naturezas, algumas estão relacionadas com a composição da argamassa (como a granulometria da areia) e propriedades do revestimento (em função das diferenças de porosidade que determinam a absorção), outros estão relacionados com o tipo de substrato e outros são externos ao substrato/revestimento, relacionados, principalmente, com os métodos utilizados no processo de aplicação e nas condições ambientais locais (GALLEGOS, 1995; PAES, 2004; RECENA, 2011; SILVA; FLORES-COLEN; GASPAR, 2013).

Quanto aos fatores de execução, há forte influência do fator humano no desempenho do revestimento quanto à aderência. Neste caso a resistência de aderência à tração varia com a altura de aplicação, isso evidencia a influência da ergonomia do operário ao aplicar a argamassa (GONÇALVES; BAUER, 2005). A Figura 7 ilustra os fatores intervenientes na aderência dos revestimentos:



**Figura 7 – Fatores que influenciam a aderência de argamassas sobre bases porosas**

(Fonte: Carasek , 2007).

Segundo Bauer (2005) e Chagas (2009), a aderência é influenciada diretamente pelas características dos materiais constituintes da base, relacionados com a sua porosidade (capacidade de sucção da água) e com a sua textura superficial (rugosidade). Estas características influem na velocidade e quantidade da água transportada da argamassa fresca para o substrato e, conseqüentemente, na alteração da microestrutura da argamassa na região de contato. (CARASEK; DJANIKIAN, 1997; PAES, 2004)

Nesse sentido, a ligação entre um revestimento e um substrato existe devido à penetração e a cristalização dos produtos de hidratação da argamassa (ou produtos de carbonatação - para as argamassas de cal) nos poros do substrato (SILVA; FLORES-COLEN; GASPAR, 2013).

Para Carasek; Cascudo; Scartezini (2001) a aderência é um fenômeno essencialmente mecânico. Isso se dá, basicamente à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação, e à precipitação dos produtos de hidratação do(s) aglomerante(s) exercendo ação de ancoragem da argamassa à base após a cura.

Para Carasek (2007), a aderência é formada pela conjunção por três propriedades presentes na interface revestimento/substrato:

**a) Resistência de aderência ao cisalhamento**

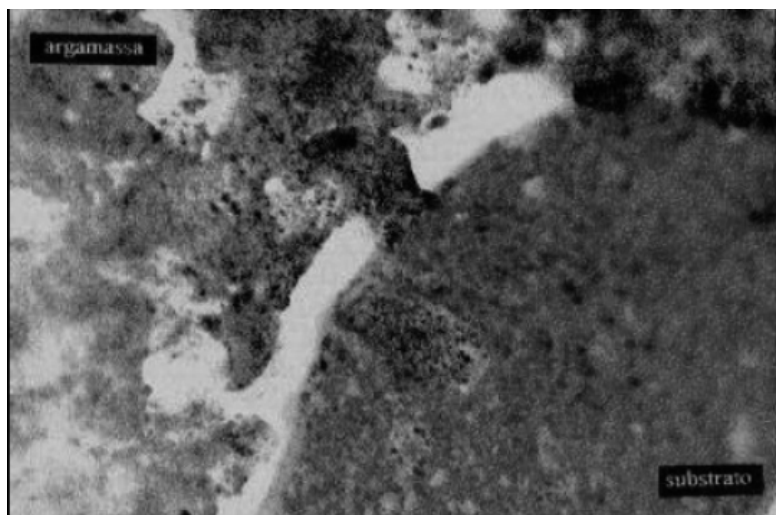
A resistência ao cisalhamento de revestimentos de argamassa não é normalizada no Brasil. A RILEM – Reunion Internacional Des Laboratories D’essais Et Materiaux propõe dois métodos em laboratório por cisalhamento, chamado Determination of the bond of renderings by shear tests, constante na Technical Committee on Mortars and Renderings Foreword (RILEM FINAL RECOMMENDATIONS, 1982).

**b) Extensão de aderência**

A extensão de aderência, segundo Carasek e Djanikian (1997) consiste na razão entre a área de contato efetivo do revestimento e a área total possível de ser unida sobre o substrato. No trabalho realizado pelos autores, empregou-se um microscópio estereoscópico trinocular, dotado por escala micrométrica e de equipamento fotográfico. Assim, após as aferições das amostras, foi possível calcular a extensão de aderência.

A Figura 8 ilustra a extensão de aderência pesquisada por Carasek (1996).





**Figura 8 - Extensão de aderência em substrato cerâmico - imagem obtida por Carasek (1996).**

Uma boa extensão de aderência (maior área de contato) beneficia os mecanismos de aderência, caso a mesma seja contínua e prolongada ao longo de toda a interface argamassa/substrato. A trabalhabilidade da argamassa fresca também contribui com a extensão de aderência, visto que pode facilitar o trabalho de lançamento da argamassa com uma energia de aplicação mais adequada e melhorar o efeito do aperto (GONÇALVES, 2004).

### **c) Resistência de aderência à tração**

No Brasil, a avaliação da resistência à aderência à tração de revestimentos de argamassa está prevista pela NBR 13528 (ABNT, 2010).

A resistência de aderência à tração apresenta uma variabilidade intrínseca de 52% para o ensaio realizado e fatores como: o processo executivo do revestimento, os materiais utilizados, as condições climáticas, dentre outros; respondem por uma variabilidade de 33% nos resultados do ensaio de aderência. A aderência da argamassa ao substrato não ocorre de maneira homogênea em um plano de revestimento, devendo ser observada como tal; pois a mesma apresenta um comportamento pontual entre amostras ensaiadas, devido á sua alta variabilidade natural (GONÇALVES; BAUER, 2005).

Por outro lado, para Carasek (2007), o ensaio de resistência de aderência à tração apresenta resultados com alta dispersão, com coeficientes de variação na ordem de 10 a 35%.

Pela NBR 13528 (ABNT, 2010), a determinação da resistência à tração consiste na aplicação de um esforço de tração normal à superfície do revestimento de argamassa, por meio de uma pastilha aderida associada a um equipamento tensor.

A resistência de aderência à tração é obtida de acordo com a seguinte equação:

$$Ra = \frac{P}{A} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

Ra: resistência de aderência à tração, em MPa;

P: carga normal de ruptura, perpendicular à base, em N;

A: área da seção transversal, mm<sup>2</sup>.

A carga (P) e a área (A) devem ser introduzidas na expressão de cálculo em número inteiro, enquanto que os valores da resistência de aderência à tração devem ser expressos com duas casas decimais

A NBR 13749 (ABNT, 2013) estabelece os valores de resistência de aderência à tração para revestimentos (Tabela 7):

**Tabela 7 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra), segundo a NBR 13749/13.**

Local	Ra (MPa)
Interna	≥ 0,20
Externa	≥ 0,30

Contudo, para Carasek (2007), além dos valores obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração, é importante analisar o tipo de ruptura ocorrida.

A norma NBR 13528 (ABNT,2010) considera seis formas de ruptura para um sistema de revestimento com chapisco:

- (A) - ruptura no substrato;
- (B) Ruptura na interface substrato/chapisco;
- (C) Ruptura no chapisco;
- (D) Ruptura na interface chapisco/argamassa;
- (E) Ruptura na argamassa
- (F) Ruptura na interface argamassa/cola
- (G) Ruptura na interface cola/pastilha

Para Carasek (2007), quando a ruptura é do tipo coesiva (A, C e E), os valores são menos preocupantes, salvo que sejam muito baixos. Quando ocorre a ruptura adesiva (B e D),

os valores devem ser mais elevados, pois há um maior potencial para manifestações patológicas. A ruptura na interface argamassa/cola (F), com valores baixos obtidos, indica resistência superficial inadequada (pulverulência). Já a ruptura na interface cola/pastilha (G) representa um defeito de colagem, cuja medição deve ser desprezada.

## 2.6 ADIÇÕES POZOLÂNICAS

Conforme a NBR 5736 (ABNT, 1991), são materiais pozolânicos produtos “silicosos ou silicoaluminosos que por si só possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentícias”.

Embora pozolanas naturais no estado bruto ou após a ativação térmica ainda estejam sendo usadas em algumas partes do mundo, devido a considerações econômicas e ambientais muitos subprodutos industriais tornaram-se a principal fonte de adições minerais em concretos (METHA; MONTEIRO, 2006). A Tabela 8 ilustra exemplos de pozolanas:

**Tabela 8 - Tipo de adições pozolânicas.**

Tipo / exemplo	Origem
Naturais: Bacoli, Barile, Salone (Itália)	Vulcânica ou sedimentar
Artificiais: 1) Argilas calcinadas: Metacaulim 2) Cinzas volantes: Escórias siderúrgicas ácidas Rejeito silicoaluminoso de craqueamento de petróleo Cinzas de resíduos vegetais	Tratamento térmico ou subproduto industrial

(Fonte: Massazza, 1998)

Por suas propriedades, as pozolanas são adicionadas em cimentos Portland em compósitos cimentícios. Metha e Monteiro (2006) observam três aspectos da reação pozolânica em matrizes cimentícias:

- A reação pozolânica é lenta, assim a taxa de liberação de calor e o desenvolvimento da resistência também são lentos;
- A reação consome óxido de cálcio, o que contribui para a durabilidade da pasta endurecida frente aos meios ácidos;
- Os produtos da reação são eficientes no preenchimento dos espaços capilares grandes, melhorando a resistência e impermeabilidade do sistema;

Além das adições minerais tradicionais (de escória de alto-forno, de calcário, cinzas volantes ou pozolanas naturais), muitos outros materiais estão sendo pesquisados. Entre eles, as cinzas de casca de arroz (CCA) aparecem como uma opção para a área do estado do Rio Grande do Sul (ZERBINO *et al.*, 2012).

### **2.6.1 Cinza de casca de arroz**

A utilização de subprodutos e materiais residuais tem importante papel na solução de problemas ambientais, e não só poderia ampliar a gama de materiais de construção disponíveis, mas como substituir parcialmente o cimento Portland, cuja produção demanda alto consumo de energia (XU; LO; MEMON, 2012).

A investigação sobre a produção de CCA que pode ser incorporada ao concreto e a argamassas, não é recente (EL-DAKROURY; GASSER, 2008). Atualmente, a utilização de adições na indústria da construção está em constante crescimento, principalmente devido às suas implicações ambientais e sustentáveis (ZERBINO *et al.*, 2012).

Segundo Cordeiro (2009), a cinza de casca de arroz considerada uma superpozolana. Suas características variam, de uma forma geral, em função da composição química da casca e das condições de queima adotada.

Neville (1997) afirma que, como pozolana, a sílica (presente na CCA) deve estar em estado amorfo, pois a forma cristalina possui pouca reatividade. Quanto à granulometria, a CCA é desejável estar finamente subdividida para poder se combinar com hidróxido de cálcio na presença da água e formar silicatos estáveis (reação pozolânica). Segundo o autor, o fenômeno da pozolanicidade é complexo, pois além da composição química, estão envolvidas a área superficial e a relação entre elas.

A utilização de cinzas de casca de arroz como material pozolânico em cimento e concreto fornece várias vantagens, tais como a resistência melhorada e propriedades de durabilidade, redução de custos de materiais, e benefícios ambientais relacionados com a disposição de resíduos e a redução das emissões de dióxido carbono. (BUI; HU; STROEVEN, 2005; VAN *et al.*, 2013).

O Brasil é o nono produtor mundial de arroz, colhendo 11,26 milhões de toneladas na safra de 2009/2010, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor brasileiro. As projeções demonstram que o Brasil vai colher 14,12 milhões de toneladas de arroz na safra de 2019/2020 (MAPA, 2013).

Segundo o BIODIESELBR (2013), aproximadamente 15% da casca produzida é destinada a secagem do arroz, apenas 50% é utilizada na produção de eletricidade e 35% é disponibilizada para pequenas indústrias localizadas em diferentes locais.

A casca de arroz que antes era descartada no meio ambiente agora é fonte de energia. Conforme o IRGA (2013) o grão de arroz contém cerca de 20% de casca e são gerados cerca de 300 mil toneladas de sílica através dessa casca. Após a combustão sobram 22,6% de cinzas com alta concentração em sílica, 95,8%. A reatividade da CCA é atribuída ao seu elevado teor de sílica amorfa, e a sua área de superfície muito grande regido pela estrutura porosa das partículas (BUI; HU; STROEVEN, 2005).

A cinza obtida da queima da casca do arroz apresenta coloração escura devido à presença de carbono. Segundo o site Ricehuskash.com (2013), é crescente a demanda por sílica amorfa na produção de cimento e produção de concreto para uso em pontes, ambientes marinhos, usinas nucleares, etc. A cinza de casca de arroz pode ser utilizada como: concreto de alto desempenho, refratário, telhas, produtos químicos impermeabilizantes, tintas para aplicações específicas, retardadores de chamas, entre outros.

A reatividade da sílica na cinza de casca de arroz depende de fatores complexos interligados à temperatura e duração da incineração. No estudo feito Muthadhi e Kothandaraman (2010) a condição de incineração ideal encontrada foi de 500°C por 120 minutos, produzindo cinza com máxima densidade e finura, maior teor de sílica amorfa, maior pozolanicidade e menor energia na geração; concluindo que a queima realizada em temperatura além dos 600°C, a partícula é aumentada.

Conforme Duarte (2008), a quantidade de fases cristalinas na sílica deve ser menor possível e que temperaturas mais elevadas tendem a produzir CCA mais cristalina. Na queima não controlada, a perda ao fogo em função do teor de carbono pode ser mais elevada. Caracterizado como elemento higroscópico, o carbono acarreta o aumento por demanda por água na dosagem de concreto.

Em concretos, as reações pozolânicas da CCA com os produtos de hidratação do cimento provocam alterações positivas na microestrutura do compósito, o que geralmente acarreta um aumento na resistência à compressão, diminuição da porosidade e refinamento dos poros, aumento da durabilidade e aumento da coesão do concreto no estado fresco (DUART, 2008).

Meira (2009) confirma que há a viabilidade técnica do emprego de cinza de casca de arroz natural, sem moagem para o emprego em concreto estrutural em um teor de substituição de 15%. Os resultados de resistência axial foram superiores à referência e os resultados de retração, módulo de elasticidade e resistência à compressão diametral foram inferiores, porém com valores não significativos. Na mesma linha de pesquisa, Cezar (2011) investigou a viabilidade técnica da substituição de parte do cimento por cinza de casca de arroz residual, sem queima controlada e sem moagem. O autor analisou as propriedades de durabilidade do concreto e obteve como resultado a viabilidade técnica do uso de 15% de cinza de casca de arroz natural sem beneficiamento, na produção de concreto estrutural.

Na pesquisa realizada por Krug (2011) observou-se que o teor de substituição de cimento Portland por CCA apresentou efeitos significativos quanto às propriedades no estado endurecido do concreto. Em estudo preliminar para examinar a utilização de cinza de casca de arroz como uma substituição de cimento demonstrou que a incorporação de CCA no concreto auto-adensável diminuem o peso da unidade, a fluidez, a absorção de água, a porosidade total, a resistência à compressão, a velocidade do impulso ultrassônico e custo (SUA-IAM; MAKUL, 2013).

### **2.6.2 Influência da cinza da casca de arroz nas argamassas de chapisco**

De acordo com Costenaro e Liborio (2002), para que a cinza da casca de arroz possa ser utilizada na produção materiais cimentícios, é necessário que, além de uma área específica elevada, já mencionada, e uma baixa granulometria, proporcionando um melhor empacotamento dos grãos, e ser amorfa para que tenha pozolanicidade.

Para Silva (2004) a sílica ativa atua na fase pasta de cimento e também na interface ou ligação pasta/agregado, cuja ação pode se dar de duas formas: efeito microfiller e efeito pozolânico. Esses dois efeitos e suas ações levam a um aumento significativo da compacidade dos concretos e argamassas, reduzindo sensivelmente o volume de vazios, além de fortalecer a microestrutura e promover um refinamento dos poros.

Tashima (2006) relata que a atividade pozolânica (efeito químico) diz respeito a todas as reações químicas que acontecem entre os elementos ativos das pozolanas, a cal e a água. O processo de reação da pozolana com o hidróxido de cálcio (produzido durante a hidratação do cimento Portland) contribui para a formação de silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), aluminatos de cálcio hidratados (A-C-H) e/ou silicoaluminatos de cálcio hidratados

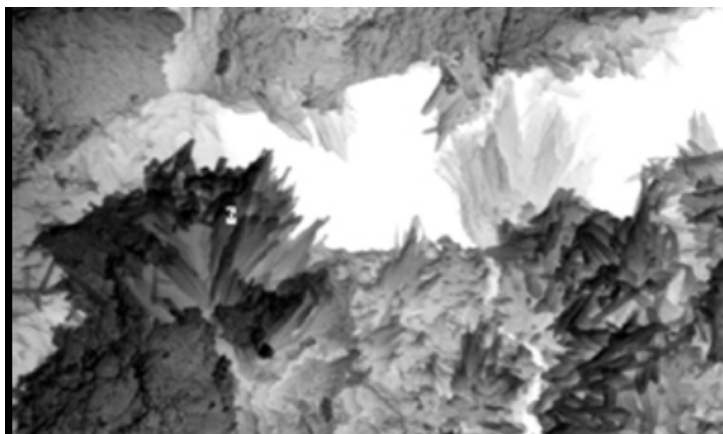
(S-A-C-H) gerando assim, um aumento de resistência mecânica, diminuição da permeabilidade e, conseqüentemente, aumento na durabilidade do compósito.

Nesse sentido, Silva e Liborio (2003) relatam que a sílica da pozolana em reação com o hidróxido de cálcio forma o C-S-H, enriquecendo algumas propriedades da argamassa. Esses autores verificaram ganhos substanciais na resistência de aderência devido à adição da pozolana na argamassa, tendo em vista seus benefícios, como uma maior compacidade na zona de transição, implicando no incremento da ligação ao substrato.

O efeito físico da pozolana que atua no preenchimento de vazios de argamassas melhorando a coesão e diminuindo a exsudação, é o chamado efeito fíler. Por outro lado, a pozolana propicia o efeito nucleação, que aumenta a velocidade de hidratação das partículas de cimento Portland nos primeiros dias de cura. Essa característica propicia uma maior quantidade de hidratos, fazendo com que a quantidade de portlandita (CH) disponível neste período seja maior, aumentando posteriormente a reação pozolânica. (TASHIMA, 2006). Assim, conforme observam Tashima *et al.* (2012) o consumo da portlandita liberada durante o processo de hidratação do cimento, influencia o ganho de resistência das argamassas

Da mesma forma, Silva (2004) observou em sua pesquisa, acerca da microestrutura do chapisco, que as ações físicas e químicas da sílica da casca de arroz, formam uma microestrutura densa, de baixa porosidade e com a presença de produtos hidratados pouco cristalinos na interface chapisco/substrato (concreto). Assim a autora identificou a presença do C-S-H preenchendo os espaços vazios, o que ilustra que o mecanismo de aderência deve ser proveniente do crescimento de cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e entrelaçamento de suas fibras sobre o substrato. Por outro lado, não foram encontrados depósitos massivos de hidróxido de cálcio (portlandita) na interface substrato/argamassa. Isso ocorre devido à formação dos cristais de etringita, que impedem a precipitação do hidróxido de cálcio. Essas características identificadas na microestrutura, aliadas à baixa relação água/cimento (que favorece a formação de pequenos cristais de CH), contribuem para a boa aderência do chapisco ao substrato.

A Figura 9 apresenta a micrografia obtida por Silva e Liborio (2003) em que foram identificados os cristais de etringita e C-S-H junto à interface substrato (concreto) / chapisco.



**Figura 9 - Produtos hidratados identificados na interface chapisco/substrato (Fonte: Silva e Liborio, 2003).**



### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O programa experimental desenvolvido no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC) da Unisinos, visou avaliar o comportamento da argamassa de chapisco com a substituição cimento Portland por cinza da casca de arroz, sobre substratos com diferentes características de porosidade e rugosidade. Neste capítulo são apresentados os materiais e os métodos que fazem parte desta pesquisa, detalhando as fases experimentais realizadas para determinar a influência exercida pela porosidade do substrato cerâmico aderência do sistema de revestimento de argamassa com emprego de cinza de casca de arroz no chapisco.

Em um primeiro momento (fase 1) foram realizados os ensaios de caracterização dos materiais e componentes a serem utilizados (substrato, argamassas de chapisco e argamassa de revestimento, nos estados fresco e endurecido).

Na fase 2 foram realizados os ensaios de determinação das propriedades de aderência e caracterização da argamassa de chapisco aplicada sobre o substrato e do sistema de revestimento dos espécimes produzidos.

Na Figura 10 encontram-se os ensaios pertinentes ao programa experimental desta dissertação:

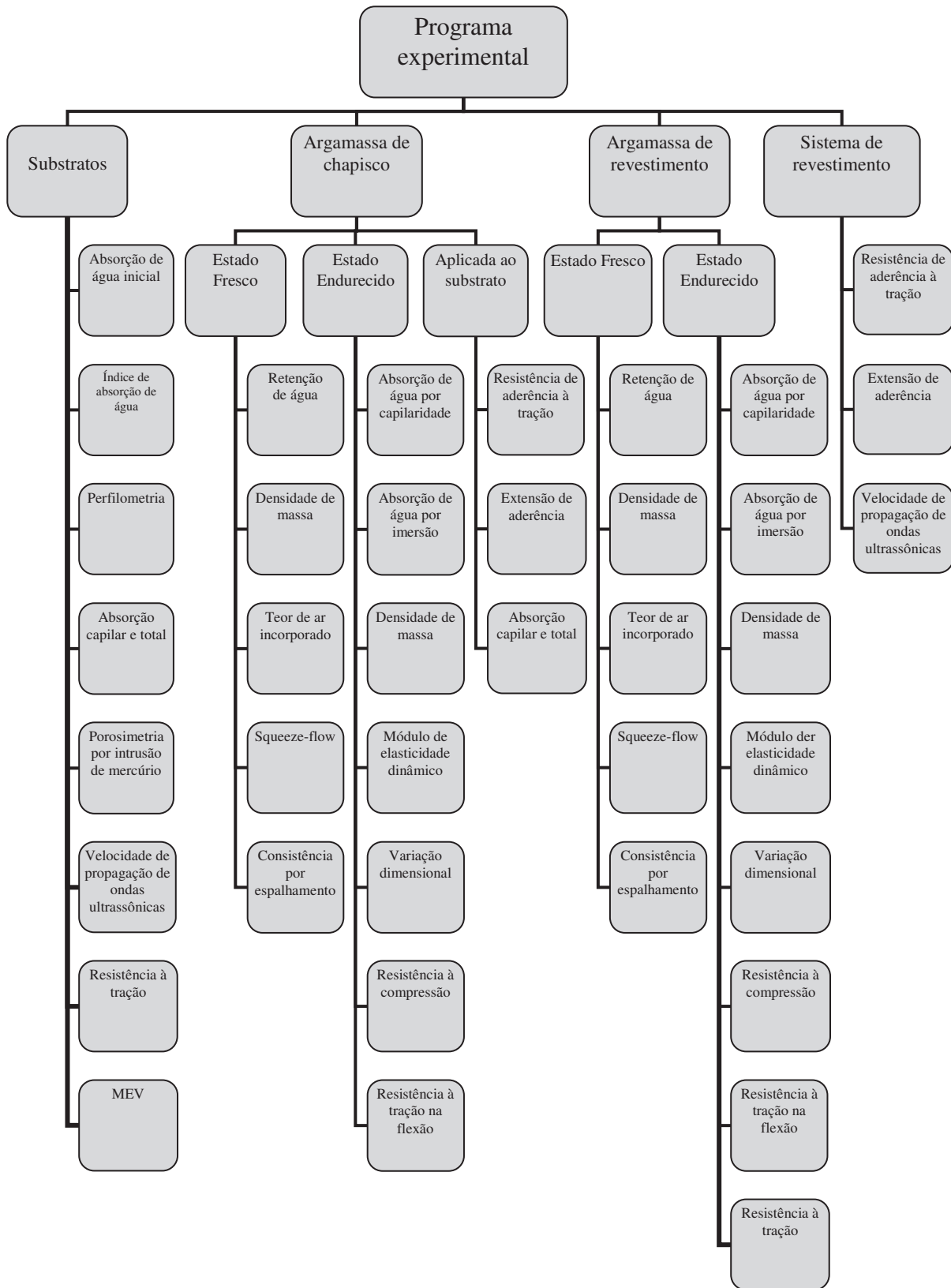


Figura 10 - Ensaios desenvolvidos no programa experimental.

### **3.1 PLANEJAMENTO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL**

A fim de contemplar os objetivos deste programa experimental, foram empregados fatores de controle com 3 níveis de estudo, fatores fixos com um só nível de controle, fatores não controláveis e variáveis de resposta:

#### **3.1.1 Fatores fixos**

Os fatores fixos de controle constituem os parâmetros constantes:

- Traço do chapisco: 1:3; em volume – cimento e areia;
- Traço da argamassa de revestimento: 1:1:6; em volume – cimento, cal e areia;
- Granulometria e litologia dos agregados;
- Relação água/aglomerante nas argamassas de chapisco e revestimento;
- Forma de aplicação da argamassa de chapisco;
- Forma de aplicação da argamassa de revestimento;
- Tipos de aglomerantes (cimento e cal)
- Bloco não sinterizado, oriundo de uma única olaria;

#### **3.1.2 Fatores de controle (independentes)**

Consistem nos parâmetros empregados no programa experimental, estudadas em diferentes níveis, com a possibilidade de surtir efeito ou não nas variáveis de resposta:

- Teor de substituição do cimento CII-F por CCA – 3 níveis controle: referência (0%), 5% e 10 %;
- Temperatura de sinterização das cerâmicas - 3 níveis de controle: 750° C, 900 °C e 1000°C

#### **3.1.3 Fatores não controláveis (independentes)**

Além dos fatores já descritos, há a possibilidade de interferência de fatores não controláveis, as quais são responsáveis pela incerteza e a variabilidade pertinente ao programa experimental.

Optou-se, assim, para minimizar a incidência destes fatores, aleatorizar grande parte dos ensaios realizados neste programa experimental, alternando os dias de moldagem e realizando a repetição de grande parte dos ensaios.

### 3.1.4 Variáveis de resposta (dependentes)

As variáveis de respostas desse programa experimental contemplam os valores de resistência de aderência à tração, extensão de aderência da argamassa de chapisco nos substratos e no sistema de revestimento.

A Tabela 9 apresenta os fatores de controle e as variáveis de resposta:

**Tabela 9 - Fatores de controle e variáveis de resposta.**

Fator de controle (independente)	Níveis de controle	Variável de resposta (dependente)
Teor de substituição de cimento por CCA	3	Resistência de aderência à tração (argamassa de chapisco e de revestimento)
Temperatura de sinterização dos substratos	3	Extensão de aderência (argamassa de chapisco e de revestimento)

A Tabela 10 apresenta a matriz a ser empregada durante o desenvolvimento do trabalho:

**Tabela 10 - Matriz experimental da pesquisa.**

Tratamento/Condição	Cerâmica 750°C	Cerâmica 900°C	Cerâmica 1000°C
Referência	750 0	900 0	1000 0
Substituição 5%	750 5	900 5	1000 5
Substituição 10%	750 10	900 10	1000 10

### 3.1.5 Análise estatística

Para a verificação de quais fatores exercem efeito significativo sobre a resposta, empregou-se a análise de variância (ANOVA), teste que compara estatisticamente a influência de cada fator de controle envolvido no estudo sobre as variáveis de resposta, assim como a existência de alguma interação entre elas a partir dos resultados obtidos. As análises foram feitas na versão de demonstração do software Statística 7, adotando-se um nível de significância de 95%.

## 3.2 MATERIAIS

### 3.2.1 Substratos cerâmicos

Foi empregado neste programa experimental um tipo de cerâmica, proveniente uma fábrica de blocos cerâmicos da região metropolitana de Porto Alegre (RS). Os blocos extrudados e secos foram coletados na empresa. No seu processo produção, os mesmos são indicados para alvenaria estrutural, com resistência característica de 13 MPa. As dimensões dos blocos nas condições em que foram adquiridos encontram-se na Tabela 11:

**Tabela 11 – Características físicas dos blocos não sinterizados.**

Condição	L (cm)	C (cm)	H (cm)	Massa (g)
Seco, não sinterizado	14,30	29,4	19,63	8697,68

O ensaio de perda ao fogo demonstra a quantidade (%) de água de constituição e/ou matéria orgânica presentes no material. (FIGUEIREDO, 2008).

A Tabela 12 apresenta os valores obtidos no ensaio:

**Tabela 12 - Ensaios de caracterização física das cerâmicas por Perda ao fogo.**

Tipo de Amostra	Resultado Perda ao Fogo (%)
Não sinterizada	5,72
Sinterizada a 750°C	1,06
Sinterizada a 900°C	0,27
Sinterizada a 1000°C	0,23

Fonte: LCVM/Unisinos

Através da fluorescência de raios X foi possível identificar os elementos químicos presentes na cerâmica empregada nesta pesquisa. A Tabela 13 apresenta os elementos presentes nas amostras analisadas, observando-se que não houve alteração entre as amostras de massa de argila e as cerâmicas sinterizadas:

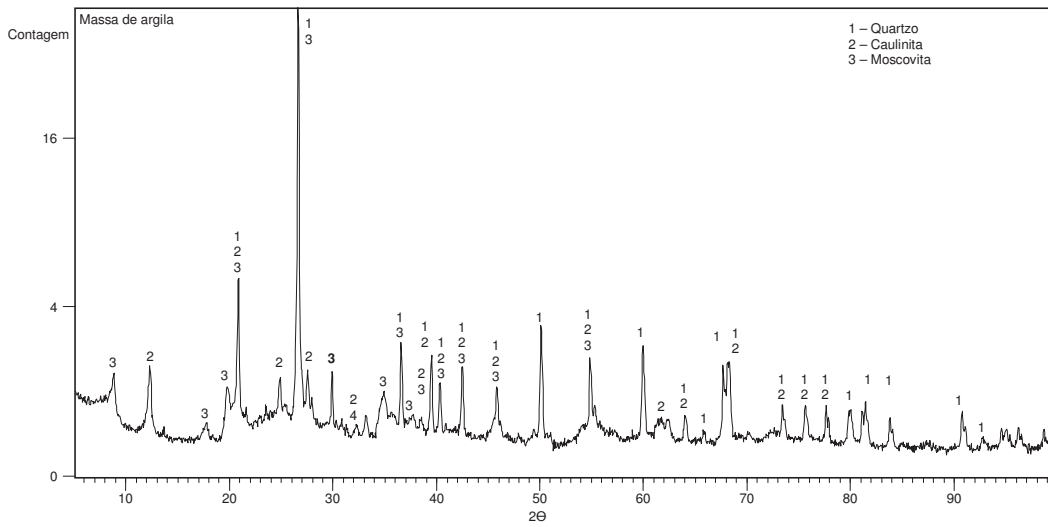
**Tabela 13 - Ensaios de caracterização química da argila e cerâmicas sinterizadas por Fluorescência de raios X.**

Método	Amostra	Elementos majoritários (> 50%)	Menor quantidade (5% > x > 50%)	Elementos traço (< 5%)
EDX qualitativo	Massa argilosa Sinterizada a 750°C Sinterizada a 900°C Sinterizada 1000°C	Si	Fe, K, Al	Ti, Mn, Sr, Zr

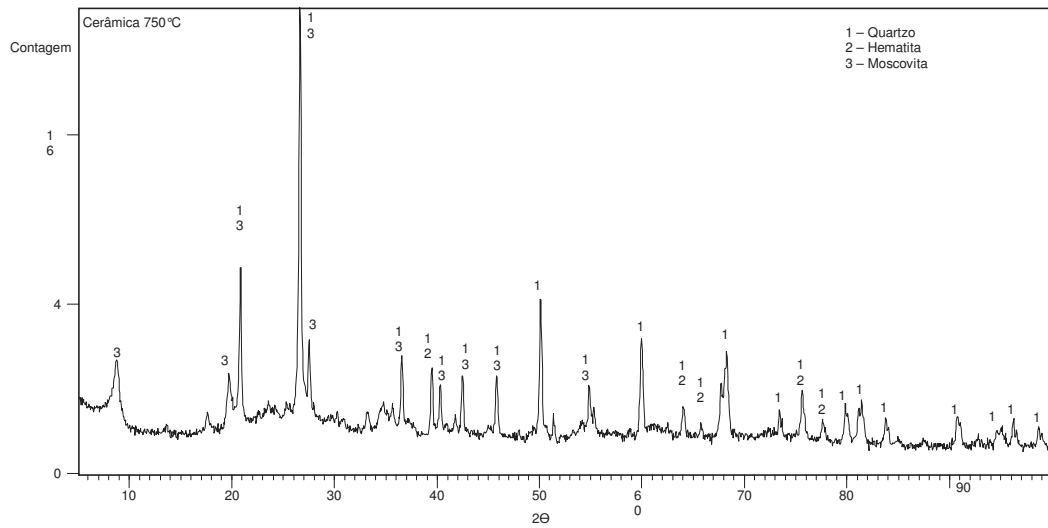
Fonte: LCVM/Unisinos

A caracterização mineralógica da massa argilosa e das cerâmicas foi processada pelo difratômetro Siemens D5000 do Laboratório de Difração de Raios X do Instituto de Física da UFRGS.

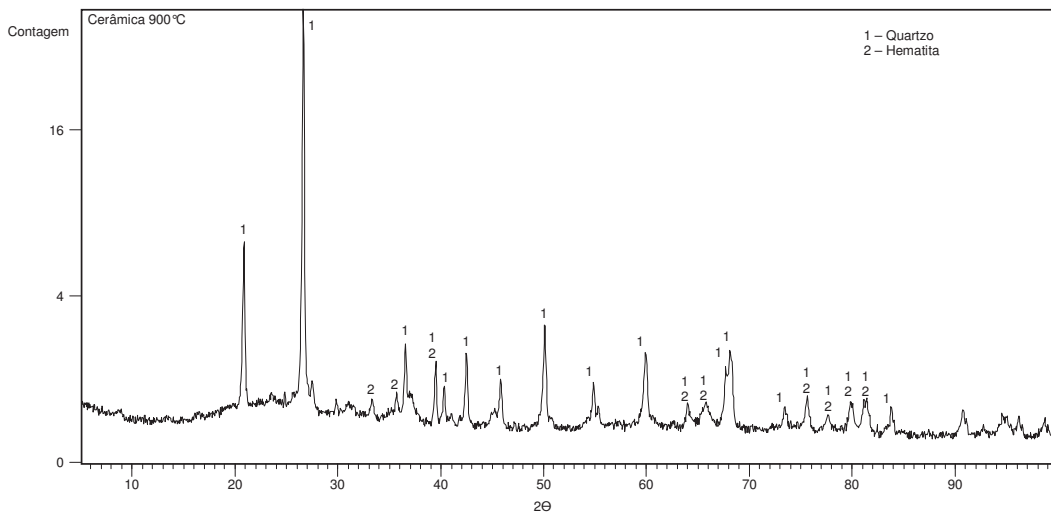
A Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14, apresentam os difratogramas obtidos:



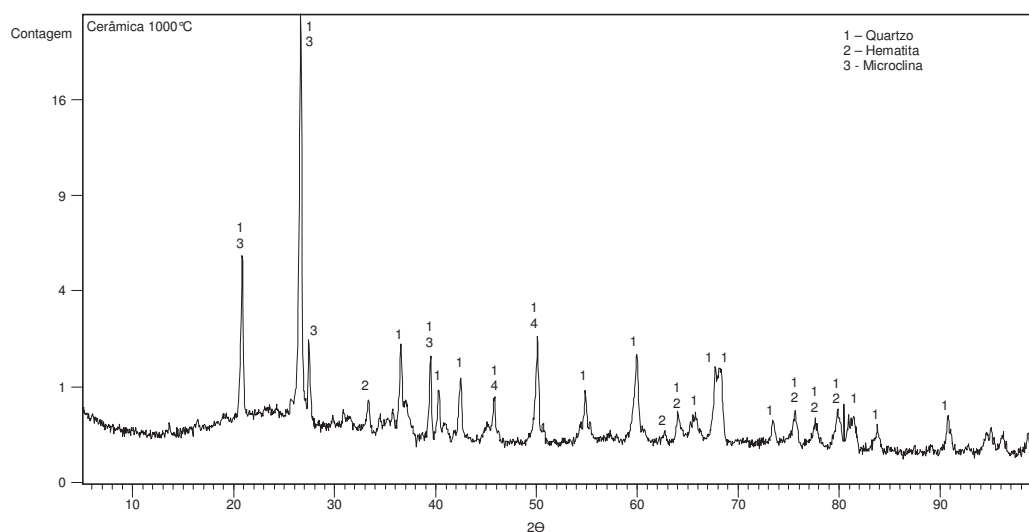
**Figura 11 – Difratoograma da cerâmica não sinterizada.**



**Figura 12 – Difratoograma da cerâmica sinterizada a 750°C.**



**Figura 13 – Difratoograma da cerâmica sinterizada a 900°C.**



**Figura 14 – Difratoograma da cerâmica sinterizada a 1000°C.**

A análise mineralógica revelou picos cristalinos bem definidos de quartzo, em todas as amostras. A amostra da massa argilosa revelou a presença do mineral caulinita, que após sinterização, não apresentou picos característicos. Este comportamento está associado à transformação do mineral para metacaulinita amorfa (SOUZA; HOLANDA, 2003; SOUZA; VIEIRA; MONTEIRO, 2008). Por outro lado, nas demais amostras, evidencia-se a presença de hematita, cuja cristalinidade vai aumentando em função da temperatura. Este mineral é formado no processo de sinterização em função da decomposição de hidróxidos de ferro presentes na massa argilosa. (SOUTO, 2009).

A moscovita ( $\text{KAlSi}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ) presente na cerâmica a 750°C tem como principal característica ser um mineral com textura lamelar que pode ocasionar o aparecimento de defeitos nas peças cerâmicas. Em tamanho de partícula reduzido, a moscovita pode atuar como fundente devido à presença de óxidos alcalinos. (VIEIRA; PINHEIRO, 2011).

Segundo Vieira; Soares; Monteiro (2008), a presença da microclina na cerâmica sinterizada a 1000°C indica que o feldspato potássico ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) não se fundiu totalmente (1180°C). Este fenômeno de fusão tende a diminuir a porosidade cerâmica. Por outro lado, isto pode acarretar deformações nas cerâmicas.

### 3.2.2 Aglomerantes

Os aglomerantes utilizados neste programa experimental são cimento Portland CP II F-32 e a cal hidratada CH I, para a produção da argamassa de revestimento. Para a produção dos chapiscos foi empregado o cimento Portland CP II F -32.

#### 3.2.2.1 Cimento

Nas Tabela 14 e Tabela 15 são apresentadas as caracterizações física e química do cimento:

**Tabela 14 - Caracterização química e física do cimento Portland CP II F 32.**

Parâmetro	Lote Outubro 2013	Valor limite pela NBR 11578 (ABNT, 1997)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,26	
SiO <sub>2</sub> (%)	18,62	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,71	
CaO (%)	60,75	
MgO (%)	4,98	≤ 6,5
SO <sub>3</sub> (%)	2,69	≤ 4,0
Perda ao Fogo (%)	4,75	≤ 6,5
CaO Livre (%)	1,44	
Resíduo Insolúvel (%)	1,11	≤ 2,5
Equivalente Alcalino (%)	0,70	
Expansão à Quente (mm)	0,23	
Início de Pega (h:min)	03:15	≥ 1
Fim de Pega (h:min)	03:57	
Água Cons. Normal (%)	26,3	
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3.285	
#200 (%)	2,04	
#325 (%)	11,09	
fc 1 dia (MPa)	14	-
fc 3 dias (MPa)	27,4	≥ 10
fc 7 dias (MPa)	32,9	≥ 20
fc 28 dias (MPa)	40,7	≥ 32
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,11	

Fonte: Fabricante 2013.

**Tabela 15 - Ensaios de caracterização química do cimento.**

Método	Amostra	Elementos majoritários (> 50%)	Menor quantidade (5% > x > 50%)	Elementos traço (< 5%)
EDX qualitativo	Cimento CP II F 32	Ca	Fe	Si, S, K, Al, Sr, Mg, Ti, Mn, Cd, Zn

Fonte: LCVM/Unisinos.

#### 3.2.2.2 Cal

Na Tabela 16 e Tabela 17 são apresentadas as caracterizações física e química da cal hidratada CH I.



**Tabela 16 - Caracterização da cal hidratada CH I.**

Parâmetro	Lote 2011	Valor limite pela NBR 7175 (ABNT, 2003)
CaO (%)	43,0	
MgO (%)	29,8	
Óxidos Totais (%)	95,04	≥ 90%
CaO+MgO (%)	72,80	
H2O combinada (%)	21,70	
CO2 (%)	1,70	
CO <sub>3</sub> residual	3,86	
(CaO+MgO) Não hidratados (%)	10,59	
CaO disponível (%)	40,50	
Sedimentação 1h (%)	89,60	
Sedimentação 2h (%)	81,60	
Sedimentação 3h (%)	72,80	
Sedimentação média	81,33	
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,712	
Umidade (%)	0	
Perda ao Fogo (%)	23,4*	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,35*	

Fonte: Fabricante 2013 / \* Fonte: LCVN/Unisinos.

**Tabela 17 - Ensaio de caracterização química da cal por Fluorescência de raios X.**

Método	Amostra	Elementos majoritários (> 50%)	Menor quantidade (5% > x > 50%)	Elementos traço (< 5%)
EDX qualitativo	Cal CHI	Ca	Mg	Si, Fe, Mn, Cu

Fonte: LCVN/Unisinos.

### 3.2.3 Água

A água utilizada para a produção das argamassas foi da rede pública da cidade de São Leopoldo-RS.

### 3.2.4 Agregado miúdo natural

O agregado miúdo natural utilizado na pesquisa foi de origem quartzosa, extraído no rio Jacuí, na região de Porto Alegre-RS.

A caracterização da areia quartzosa foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da UNISINOS, onde foram feitas as curvas granulométricas, massa específica e massa unitária, conforme a Tabela 18:

**Tabela 18 - Ensaios de caracterização físicas dos agregados miúdos.**

Ensaio de caracterização	Resultados
Massa unitária	1,54 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica	2,60 g/cm <sup>3</sup>
Perda ao fogo- Passante #4.8	0,56%
Perda ao fogo - Passante #200	0,86%

No resultado de perda ao fogo para a fração passante na peneira 200, percebe-se o valor de 0,86%. Este resultado pode estar vinculado à presença de partículas de matéria orgânica em maior quantidade nesta fração. A Tabela 19 apresenta a composição granulométrica do agregado miúdo e a Tabela 20 a caracterização química do mesmo:

**Tabela 19 – Composição granulométrica dos agregados miúdos.**

Peneira (mm) Série normal	Retida (%)	Acumulada (%)
2,4	4	4
1,2	10,0	14
0,6	22,0	36,0
0,3	47,0	83,0
0,15	7,0	90,0
Fundo	10,0	100,0
Módulo de finura		3,30

**Tabela 20 - Ensaios de caracterização química do agregado miúdo por fluorescência de raios X.**

Método	Amostra	Elementos majoritários (> 50%)	Menor quantidade (5% > x > 50%)	Elementos traço (< 5%)
EDX qualitativo	Areia natural passante #200	Si	Fe, K, Al	Ca, Ti, S, Zr, Mn, Sr, Zn
	Areia natural passante #4.8			Ca Ti, S, Zr, Mn, Sr, Ba

Fonte: LCVM/Unisinos.

### 3.2.5 Pozolana

A cinza de casca de arroz é uma pozolana que, comercialmente, é denominada de sílica da casca de arroz. A CCA é oriunda da cidade de Alegrete, RS, e gerada a partir da geração de energia pela combustão da casca de arroz em forno de leito fluidizado.

A caracterização química da adição pozolânica (Cinza da casca de arroz de leito fluidizado) empregada foi realizada no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVM) da Unisinos, empregando a técnica de Fluorescência de raios X por dispersão de energia (ED-XRF) no equipamento EDX-720 SHIMADZU. Empregou-se um padrão secundário. Os resultados desta caracterização são apresentados nas Tabela 21 e Tabela 22:

**Tabela 21 - Caracterização química qualitativa da CCA.**

Método	Amostra	Elementos majoritários (> 50%)	Menor quantidade (5% > x > 50%)	Elementos traço (< 5%)
EDX qualitativo	CCA-Lf	Si	K	S, Ca, Mn, Fe

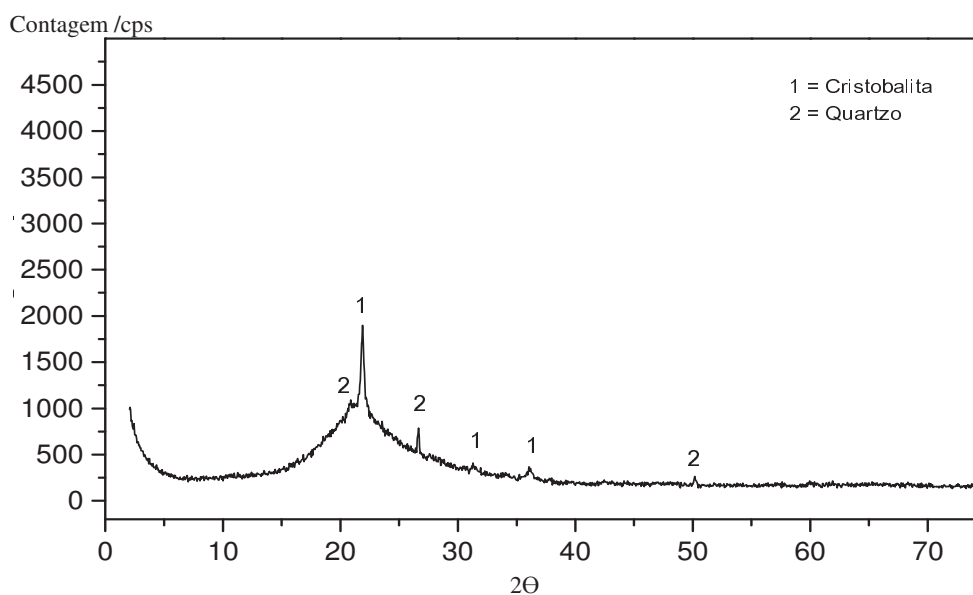
Fonte: LCVM/Unisinos.

**Tabela 22 - Caracterização química quantitativa da CCA.**

Parâmetro	Teor (%)
SiO <sub>2</sub>	96,85
K <sub>2</sub> O	0,71
SO <sub>3</sub>	-
Cl	0,03
CaO	-
MnO	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
TiO <sub>2</sub>	-
MgO	-
ZnO	0,006

Fonte: LCVM Unisinos.

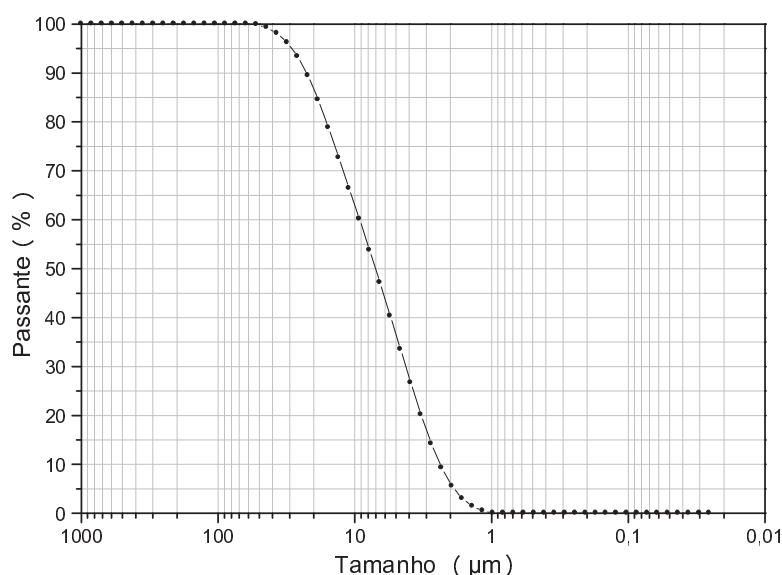
A caracterização mineralógica da CCA foi realizada no difratômetro Siemens D5000 do Laboratório de Difração de Raios X do Instituto de Física da UFRGS. A Figura 15 apresenta o difratograma obtido:



**Figura 15 – Difratograma de Raios X da Cinza de casca de arroz. Fonte: Fedumentti (2013).**

Através da difração de raios X observam-se picos de SiO<sub>2</sub>, na forma do mineral cristobalita. A presença de quartzo na amostra pode ser explicada ao fato da contaminação da amostra por areia quartzosa quando no processo de fluidização. (ANGEL *et al.*, 2009)

O tamanho médio de partícula da CCA foi obtido por granulometria de difração laser, realizada no LCVM da Unisinos, com o equipamento Microtac S3500. A preparação da amostra constou de dispersar o material em água com aditivo superplastificante, submetendo ao ultrassom na potência de 40 W por 60 s. Obteve-se a dimensão média de partícula de 6,22  $\mu\text{m}$  e a distribuição granulométrica é apresentada no gráfico da Figura 16:



**Figura 16 – Distribuição granulométrica da Cinza de casca de arroz . Fonte: LVCVM / Unisinos.**

Ao analisar-se a distribuição granulométrica verificou-se que aproximadamente 99% dos grãos apresentam dimensão inferior a 44  $\mu\text{m}$ , o que também faz com que esta pozolana atenda aos requisitos físicos da ABNT NBR 12653:2012. A massa específica desta cinza é de **2,06 g/cm<sup>3</sup>**. A Tabela 23 apresenta a caracterização granulométrica da CCA:

**Tabela 23 – Caracterização granulométrica da cinza de casca de arroz.**

Análise Granulométrica	CCA
Diâmetro <10%, $\mu\text{m}$	2,38
Diâmetro <50%, $\mu\text{m}$	7,04
Diâmetro <95%, $\mu\text{m}$	28,7

Fonte: Silveira et al (2014).

A CCA Lf apresenta um diâmetro médio de 7,04  $\mu\text{m}$ . Para Calheiro (2011) a reatividade pozolânica da CCA é influenciada pelo tamanho da partícula, pois, ao ocupar os vazios quando adicionada em argamassas, apresenta efeito fíler.

No ensaio de perda ao fogo, a amostra de CCA Lf apresentou o valor de 3,44%. Calheiro (2011) observa que cinzas de casca de arroz obtidas por meio de queimadores de leito fluidizado apresentam valores inferiores de perda ao fogo, uma vez que a queima é

controlada e homogênea, sem a presença de impurezas ou combustão incompleta e não uniforme.

Na Figura 17 é apresentada uma comparação entre a granulometria das CCA, aglomerantes e agregado miúdo:

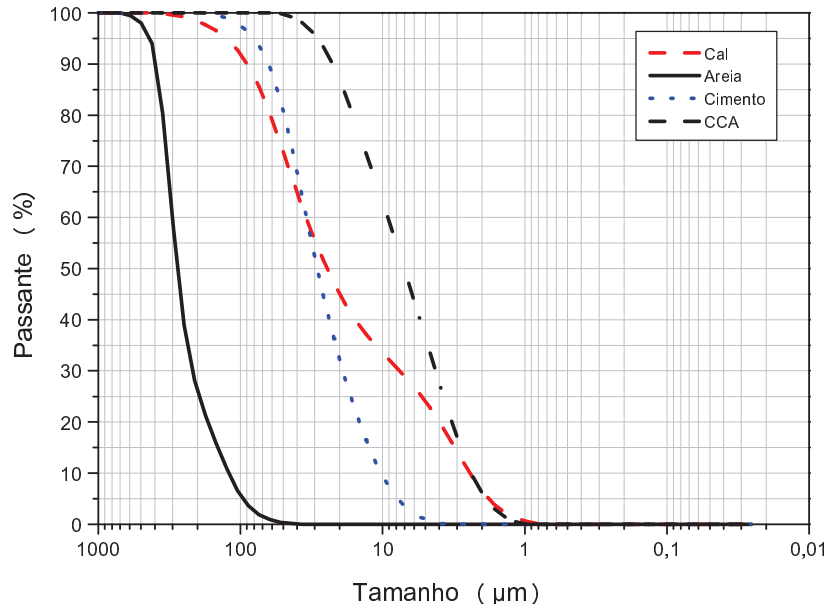


Figura 17 – Curva granulométrica da CCA, aglomerantes e agregado miúdo.

A Tabela 24 apresenta o resultado do índice de atividade pozolânica obtido no mesmo lote de cinza de casca de arroz, por Silveira et al. (2014):

Tabela 24 – Resultado do índice de atividade pozolânica pela NBR 12653 (ABNT, 2012).

Método	Determinação	Referência	CCA LF
NBR 5752	Consistência (mm)	223	226
	Água (g)	155	165
	Água Requerida (%)		106
	Rc média (MPa)	25,83	27,03
	IAP (%)		106

Fonte: Silveira et al (2014).

O resultado da análise do índice de atividade pozolânica (106%) demonstra que a cinza empregada encontra-se de acordo com a norma ABNT NBR 12653:2012, que determina o valor para o índice de atividade pozolânica (IAP) deva atingir o mínimo de 75%, enquanto que para a água requerida o limite é de 110%, portanto em função do IAP determinado, pode-se afirmar que a CCA apresenta elevada pozolanicidade.

### 3.3 PRODUÇÃO DOS SUBSTRATOS

A produção dos substratos consistiu na elaboração de três tipos de bases cerâmicas, visando avaliar as características dessas com diferentes porosidades.

### 3.3.1 Substratos cerâmicos

Para estudar a influência do substrato, três condições de queima da cerâmica foram realizados: 750°C, 900 °C e 1000°C, gerando um substratos com distintas porosidades. Segundo Arnold (2011), em análise de uma argila proveniente da mesma região, esses padrões de queima propiciam diferentes porosidades, e conseqüentemente diferentes taxas de absorção. O substrato cerâmico empregado possui as dimensões de 14 x 29 x 19 cm. Os blocos secos em condições normais de temperatura e umidade foram adquiridos, secos em estufa em temperatura de 100°C e posteriormente, sinterizados nas temperaturas já citadas, com velocidade de aquecimento de 1°C/min e patamar de queima de 720 min.

### 3.3.2 Caracterização dos substratos

Os substratos produzidos foram caracterizados a partir dos ensaios descritos a seguir:

#### 3.3.2.1 Porosimetria por intrusão de mercúrio

O equipamento que foi utilizado para a realização do ensaio é o Porosimetry a mercúrio microprocessado (modelo PoreMaster 33). O referido equipamento mensura o volume de poros de 200 a 0,0070 µm de diâmetro, com pressões que variam de 0 a 0,34 MPa para o sistema de baixa pressão e de 0,34 a 227,37 MPa para o sistema de alta pressão. O primeiro ensaio foi realizado, em baixa pressão, para identificar os macroporos, já o segundo ensaio foi realizado em alta pressão, identificando os microporos.

Para a realização deste ensaio, foi subtraída uma amostra de cada substrato na região central do exemplar. Os mesmos foram serrados a fim de se obter as dimensões próximas de 0,7 x 0,7 x 2 cm, observando-se a preservação da superfície dos substratos.

#### 3.3.2.2 Absorção de água inicial

Para a determinação do índice absorção de água inicial (AAI) foram empregadas as prescrições da NBR 15270-3 (ABNT, 2005), observando-se a imersão da face a revestir com a argamassa, empregando-se 3 corpos de prova.

#### 3.3.2.3 Determinação da massa seca e do índice de absorção de água

Utilizou o ensaio prescrito pela NBR 15270-3 (ABNT, 2005), em seis corpos de prova.

#### 3.3.2.4 Determinação da absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade seguiu o procedimento da RILEM TC 116 PCD (1999), adaptado para substrato cerâmico, em função da face a receber o revestimento. Neste caso, os substratos previamente secos e cortados, são impermeabilizados nas laterais com fita adesiva e recebem uma cobertura impermeável na face superior, que não fica aderida à superfície. Neste trabalho empregou-se uma membrana plástica, que facilita a observação da saturação na superfície superior da amostra. A impermeabilização das amostras é realizada de maneira que não ocorra interferência da umidade externa. O ensaio se inicia com a colocação da amostra em uma bandeja com uma lâmina de água, imergindo-a a três milímetros, em que este nível deve permanecer constante durante todo procedimento de ensaio.

O acompanhamento da pesagem das amostras (3 espécimes) foi realizado nos seguintes intervalos de tempo: 30 segundos, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60 minutos e 2, 3, 4, 5, 6, 24, 48 e 72 horas.

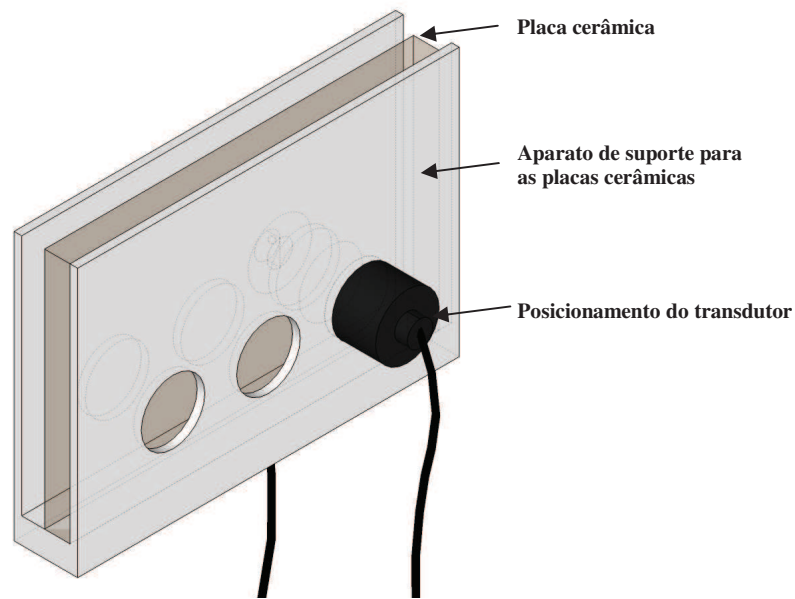
A cada intervalo de tempo, as amostras foram retiradas da água, secas superficialmente para remover o excesso de água, e a massa das mesmas era medida. Os resultados obtidos a partir deste ensaio apresentam o perfil de absorção de água (em massa) ao longo do tempo.

#### 3.3.2.5 Determinação da velocidade por propagação de ondas ultrassônicas

A caracterização dos substratos por ultrassom foi realizada por método direto, a partir da comparação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, utilizando-se o equipamento "Pundit" (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester).

Os blocos sinterizados foram serrados, com serra diamantada, após a sinterização para obtenção de placas (oriundas de uma das faces do bloco), com dimensões de 19 cm por 29 cm.

Para realização deste ensaio, as faces dos substratos foram submetidos a medições diretas, com o emprego de dois transdutores paralelos. Foram realizadas três leituras, em 3 pontos distintos para cada condição de queima das peças cerâmicas. A Figura 18 ilustra o sistema de leitura.



**Figura 18 – Sistema para posicionamento dos sensores do ultrassom.**

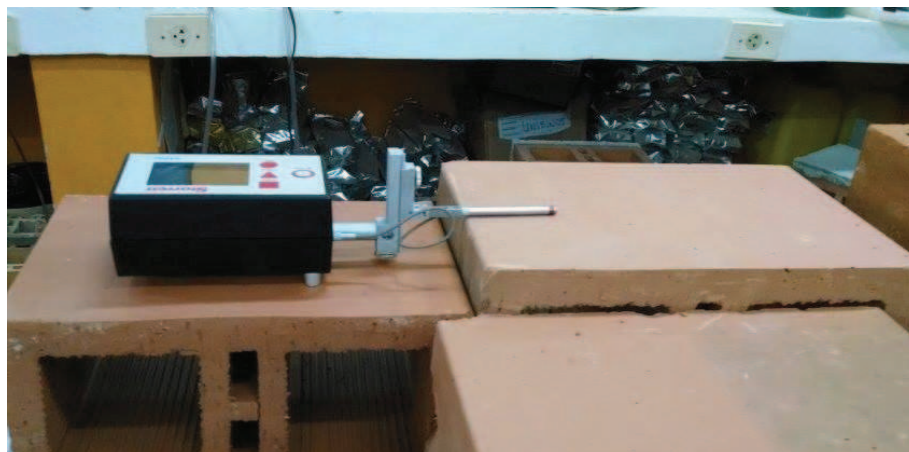
#### 3.3.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia das amostras cerâmicas foram examinadas por MEV. As imagens foram realizadas no Instituto Tecnológico de Micropaleontologia (ITT Fossil), através de elétrons retroespalhados, em uma amostra de cada cerâmica, com o objetivo de obter uma melhor visualização de sua estrutura.

#### 3.3.2.7 Determinação da rugosidade por perfilometria

A fim de se verificar a influência da rugosidade do substrato na aderência do chapisco, optou-se por mensurar esta propriedade. Assim, a ara a determinação da rugosidade da superfície dos blocos, empregou-se um rugosímetro da marca Starret modelo St 200, com resolução de  $0,01 \mu\text{m}$ . As medições foram realizadas, empregando-se cut-off de 4 mm (dimensão da superfície lida), em três repetições para cada substrato. A Figura 19 demonstra a realização do ensaio:





**Figura 19 - Ensaio realizado com o perfilômetro para determinação da rugosidade das faces da cerâmica.**

Com o intuito de eliminar a variável relativa à influência do processo de extrusão sobre a superfície da cerâmica, foram tomadas as medidas da rugosidade nos eixos x e y. Através desta mensuração, foi possível verificar que, nos blocos ensaiados, não há diferença estatística (nível de confiança de 95%) entre os dois tipos de leitura efetuados nos diferentes blocos.

#### 3.3.2.8 Resistência à tração

Para realização deste ensaio, aplicaram-se os mesmos procedimentos do ensaio de resistência de aderência à tração, prescrito pela NBR 13528 (ABNT, 2010), porém adaptando-se o procedimento para os blocos cerâmicos. Para o preparo dos corpos-de-prova, foi utilizada uma serra vertical de bancada, com broca diamantada a seco, sem impactos e de forma continuada, até se atingir a profundidade de 5 mm nos blocos. Foram ensaiados 5 corpos de prova por bloco. A colagem dos dispositivos de tração foi efetuada em seguida, com uso de adesivo à base de epóxi, cerca 24 horas antes do ensaio de tração, evitando o contato do adesivo com o substrato na circunferência resultante do corte cilíndrico.

### 3.4 PRODUÇÃO DA ARGAMASSA DE CHAPISCO

O traço do chapisco foi realizado em volume (1:3) de cimento e areia. Foi adotado um volume conhecido para a conversão do volume para massa na realização dos ensaios. Para a produção do chapisco referência foi testada a relação a/c (água/cimento) por um mestre pedreiro oficial, que analisou a trabalhabilidade da mistura. Neste sentido, a relação a/c escolhida para este trabalho foi de 1,0.

A substituição do cimento por CCA ocorreu através da compensação da massa específica do aglomerante pela da pozolana, nos teores previstos. Posteriormente, as misturas foram realizadas numa argamassadeira de eixo vertical, mantendo a relação a/ag

(água/aglomerante) de 1 nos traços com a substituição do cimento por CCA. O tempo de mistura foi de 4 minutos. As aplicações foram realizadas em 3 dias distintos, com o emprego de uma chapiscadeira. Na Tabela 25 encontram-se as relações de teor de substituição de cimento por cinza, a relação água – aglomerante e o teor de água de cada argamassa de chapisco:

**Tabela 25 - Relação água/aglomerante e teor de água das argamassas de chapisco.**

Teor	a/ag	teor de água (%)
Referência		15,0
5%	1	14,9
10%		14,8

### 3.5 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A produção das argamassas foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, controlando-se temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(60 + 10) \%$ .

A argamassa ainda não dispõe de um método racional de dosagem que tenha sido totalmente reconhecido no meio técnico nacional. Para as argamassas de revestimento, têm-se adotado com maior frequência traços do tipo 1:1:6 (cimento:cal:areia, em volume). Para a produção da argamassa foi fixado o índice de consistência de  $260\text{mm} \pm 5\text{mm}$ , preconizado pelo ABNT NBR 13276:2005. Dessa forma, chegou-se a uma relação a/c de 1,05 e um teor de água de 13%.

Para a confecção da argamassa de revestimento utilizada nos ensaios, optou-se pelo traço descrito acima, cuja proporção volumétrica foi convertida em massa para a realização dos ensaios.

O preparo da argamassa foi realizado conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005), com mistura realizada durante 4 minutos.

### 3.6 PREPARAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Todas as formulações de chapisco e argamassa foram aplicadas aos substratos. Os chapiscos foram aplicados em uma camada de 5 mm. Cada argamassa foi aplicada como uma camada de 20 mm de espessura e a área da superfície do substrato coberta pelas argamassas foi de 29 x 19 cm. Após o procedimento, os espécimes foram armazenados em sala climatizada com temperatura  $(23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C})$  e umidade  $(60\% + 10\%)$  controladas.

### **3.6.1 Aplicação do chapisco**

A aplicação das argamassas de chapisco se deu através de uma máquina de chapiscar, que consiste num equipamento de projeção manual com capacidade de 1,02 litros. Este equipamento, pouco usual, foi utilizado para minimizar a interferência da variável mão de obra na aplicação do revestimento. Com este equipamento é possível manter uma velocidade de aplicação constante e regular o volume de cobertura da argamassa de chapisco sobre a base.

O revestimento da base com o chapisco foi realizado em plano vertical, com o equipamento já mencionado. Observou-se a constância de espessura da argamassa em 5 mm e a cura foi realizada durante 72 horas em sala climatizada com temperatura de 23 ( $\pm$  2) °C e umidade de 60 ( $\pm$  10) % (recomendados pela ABNT NBR 13276: 2005).

### **3.6.2 Aplicação da argamassa de revestimento**

Para minimizar o efeito da variável mão de obra, a qual não faz parte do escopo da pesquisa, utilizou-se a caixa de queda, empregada por Cardoso, Masuero e Cordeiro (2012), para a aplicação das argamassas, a uma energia de aplicação constante. O substrato colocado sob essa caixa, na face a revestir na horizontal e voltada para cima, recebeu a argamassa sob impacto, provocado por uma queda de um metro de altura.

Após a queda da argamassa de revestimento, esta foi regularizada superficialmente sem aplicação de esforço por meio de sarrafeamento e o posterior acabamento superficial com desempenadeira, num intervalo máximo de 45 minutos após a aplicação.

A seguir, as amostras foram acondicionadas, por um período de 28 dias, em ambiente com temperatura e umidade controladas.

A Figura 20 mostra o procedimento para o lançamento da argamassa:



**Figura 20 - Caixa de queda empregada para a aplicação da argamassa de revestimento.**

Conforme Antunes e John (2007), os lançamentos a um e dois metros correspondem a dois níveis de energia de impacto que influenciam na resistência de aderência à tração. A opção pela determinação da altura de lançamento da argamassa em um metro ocorreu tendo em vista outras pesquisas que estão sendo realizadas com argamassas de revestimento no Grupo de Materiais (Gmat) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Unisinos.

### **3.7 CARACTERIZAÇÕES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO**

Tendo em vista a escassez de normas para caracterização da argamassa de chapisco, foram adaptados os ensaios de argamassas para controle e parâmetros do compósito. Assim, empregaram-se os mesmos ensaios para a argamassa de chapisco e de revestimento.

#### **3.7.1 Índice de consistência por espalhamento**

O índice de consistência adotado foi de  $260 \pm 5$  mm, nos procedimentos prescritos pela NBR 13276 (ABNT, 2005), com quatro repetições por condição.

#### **3.7.2 Retenção de água**

O ensaio, descrito pela NBR 13277 (ABNT, 2005), consiste em verificar a massa da amostra ainda no estado fresco antes e após passar por processo de sucção padronizado,

por bomba a vácuo e funil de Bücher (marca Solotest). Os procedimentos foram repetidos 3 vezes para cada amostra.

### **3.7.3 Densidade de massa**

O ensaio foi realizado conforme metodologia apresentada na NBR 13278 (ABNT, 2005) sendo realizados 3 testes para cada traço de argamassa. Este ensaio se resume a pesagem da amostra de argamassa acondicionada em um molde cilíndrico, de volume aproximado de 400 cm<sup>3</sup>, sendo o resultado expresso em kg/m<sup>3</sup>.

### **3.7.4 Teor de ar incorporado**

Para determinar o teor de ar incorporado foi utilizado o ensaio pressométrico, com o auxílio do equipamento Solotest (tipo B) – conforme a Norma conforme a NM 47 (ABNT, 2002). Neste ensaio foram realizados 3 repetições para cada argamassa.

## **3.8 CARACTERIZAÇÕES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO**

Além dos ensaios realizados no estado fresco, procederem-se ensaios, alguns durante o processo de cura e outros no estado endurecido, em diferentes idades, para as argamassas de chapisco e de revestimento.

### **3.8.1 Absorção de água por capilaridade**

Foi determinada a absorção de água das argamassas produzidas e o coeficiente de capilaridade, segundo a norma NBR 15259 (ABNT, 2005) e a NBR 9779 (ABNT, 2012). Para cada traço foram ensaiados três corpos-de-prova com dimensões de 4 x 4 x 16 cm.

O coeficiente de capilaridade é definido na NBR 15259 (ABNT, 2005) como o coeficiente angular da reta, tomando-se no eixo das abscissas a raiz quadrada dos tempos de 10 minutos e 90 minutos e no eixo das ordenadas as absorções de água correspondentes a esses tempos.

Outrossim, para a determinação da absorção de água por capilaridade prescrito pela NBR 9779 (ABNT, 2012), as massas dos corpos de prova (3 unidades) foram tomadas nos tempos de 3, 6, 24, 48 e 72 horas, a partir do início do ensaio.

### **3.8.2 Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica**

A absorção de água, o índice de vazios e a densidade de massa das argamassas produzidas foram determinados seguindo a prescrição da norma NBR 9978 (ABNT, 2005).

Para cada traço foram ensaiados três corpos-de-prova, para cada traço, com dimensões de 4 x 4 x 16 cm.

### 3.8.3 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

A medida de velocidade ultrassônica foi com determinado com o equipamento "Pundit" (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester).

Nesse ensaio foram moldados 3 corpos de prova para cada traço de argamassa, com dimensões de 4 x 4 x 16 cm, curados em condições de laboratório. A leitura da propagação de ondas foi realizada a 3, 7, 14 e 28 dias, através do método direto, com três repetições por espécime. A Figura 21 ilustra o procedimento:



Figura 21 - Tomada da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas das argamassas, pelo método direto.

### 3.8.4 Resistência à compressão

Para o ensaio de compressão foram utilizados os procedimentos estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Foram empregados 6 espécimes (adotando-se uma velocidade de carregamento de  $500 \pm 50$  N/s). As dimensões adotadas para os corpos de prova deste ensaio foram de 4 x 4 x 16 cm.

### 3.8.5 Resistência à tração na flexão

O ensaio foi realizado conforme as especificações na NBR 13279 (ABNT, 2005), empregando 3 exemplares de cada argamassa (dimensões de 4 x 4 x 16 cm), em uma velocidade de carregamento de  $500 \pm 50$  N/s.

### 3.8.6 Determinação da variação dimensional

A retração é a redução de volume observada quando a argamassa é submetida a uma perda de umidade e mantida a temperatura constante, sem nenhuma espécie de

carregamento, prescrito pela NBR 15261 (ABNT, 2005). Nesse ensaio foram empregados 3 corpos de prova por traço de argamassa, com dimensões de 25 x 25 x 285 mm e um comparador mecânico vertical de precisão 0,001 mm para a leitura da variação dimensional.

Após a moldagem, os moldes permaneceram em sala climatizada sob temperatura e umidade constantes por 48 horas. Após este período, foram desmoldados, em que se considera como tempo zero. As medições ocorreram nos intervalos de 1, 7, 14, 21 e 28 dias.

### **3.8.7 Densidade de massa**

O ensaio descrito pela NBR 13280 (ABNT, 2005) consiste em determinar, com auxílio de paquímetro, a altura, a largura e comprimento de cada corpo-de-prova em duas posições, em centímetros, e a suas respectivas massas. O ensaio foi realizado em 3 corpos de prova por condição, com dimensões de 4 x 4 x 16 cm.

### **3.8.8 Resistência à tração**

O ensaio, adaptado da NBR 13528 (ABNT, 2010), consiste na produção de corpos de prova com as argamassas cilíndricas, com diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm. Assim, foram moldados 4 corpos de prova para cada tipo de argamassa. A colagem dos dispositivos de tração foi efetuada com uso de adesivo à base de epóxi, cerca 24 horas antes do ensaio. Foram registradas as cargas de ruptura, o diâmetro efetivo do corpo-de-prova e os tipos de ruptura. O equipamento empregado nos ensaios de resistência de aderência à tração foi Dinatest, modelo DS2-DPU-1100, com capacidade máxima de 5000N.

## **3.9 CARACTERIZAÇÕES DO SUBSTRATO E ARGAMASSA DE CHAPISCO**

Os ensaios de caracterização tratados neste item têm como objetivo apresentar os ensaios referentes à interação entre os substratos cerâmicos e as argamassas de chapisco.

### **3.9.1 Ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa de chapisco**

A determinação da resistência de aderência dos chapisco foi realizada uma adaptação do procedimento descrito na NBR 13528 (ABNT, 2010), com a aplicação do chapisco sobre os substratos. Para o preparo dos corpos-de-prova, foi utilizada uma serra vertical de bancada, com broca diamantada a seco, sem impactos e de forma continuada, até se atingir a profundidade de 5 mm nos blocos. Foram realizados 6 perfurações por bloco, totalizando 12 espécimes por condição de queima e teor de cinza de casca de arroz contida na argamassa de chapisco. A colagem dos dispositivos de tração foi efetuada em seguida, com uso de adesivo à base de epóxi, cerca 24 horas antes do ensaio. Para evitar o contato do

adesivo com o substrato na circunferência resultante do corte cilíndrico, foi aplicado selante<sup>2</sup> junto à circunferência externa do corte. A Figura 22 apresenta a preparação da argamassa de chapisco para a colagem da pastilha:



**Figura 22 – Preparação do bloco chapiscado para o ensaio de resistência de aderência à tração.**

Para cada ensaio realizado foram registradas as cargas de ruptura, o diâmetro efetivo do corpo-de-prova e os tipos de ruptura. O equipamento empregado nos ensaios de resistência de aderência à tração foi Dinatest, modelo DS2-DPU-1100, com capacidade máxima de 5000N.

Posteriormente, as amostras foram fotografadas com câmera digital (Nikon D80) com as referidas escalas, a fim de identificar a área efetiva da ruptura. O processo para mensuração foi realizado com o auxílio de software de tratamento de imagens – Image J. Os resultados obtidos foram calculados em função da razão entre a área efetivamente de ruptura e tensão de carga de tração aplicada.

### **3.9.2 Determinação da absorção de água por capilaridade**

O ensaio de absorção por capilaridade seguiu o procedimento da RILEM TC 116 PCD (1999), adaptado para o conjunto substrato e argamassa de chapisco, cujo procedimento foi descrito no item 3.3.2.4.

## **3.10 CARACTERIZAÇÕES DO SISTEMA SUBSTRATO, ARGAMASSA DE CHAPISCO E ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**

Os ensaios de caracterização, tratados neste item, apresentam os ensaios referentes conjunto substrato, argamassa de chapisco e argamassa de revestimento.

---

<sup>2</sup> Para verificar a influência do uso do selante na de resistência de aderência dos chapisco, foi realizado um estudo piloto, cujos resultados encontram-se no Apêndice D.



### 3.10.1 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

A medida de velocidade ultrassônica no sistema de revestimento foi determinada com o equipamento "Pundit" (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester). Nesse ensaio foram realizadas leituras às 24 horas da aplicação do revestimento e, posteriormente aos 7, 14, 21 e 28 dias, com três repetições por espécime. A Figura 23 ilustra o procedimento de medição:



Figura 23 - Medição da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, pelo método direto, no conjunto de revestimento.

### 3.10.2 Resistência de aderência à tração

A determinação da resistência de aderência das argamassas foi efetuada sobre o sistema de revestimento de acordo com o procedimento descrito na ABNT NBR 13528 :2010, aos 28 dias de idade. Para o preparo dos corpos-de-prova foi utilizada uma serra vertical de bancada, com broca diamantada a seco, sem impactos e de forma continuada, até se atingir a profundidade de 5 mm nos blocos. Neste caso, foram realizados 6 perfurações por bloco, totalizando 12 espécimes por condição de queima e teor de cinza contida na argamassa de chapisco. A colagem dos dispositivos de tração foi efetuada em seguida, com uso de adesivo à base de poliéster, cerca 24 horas antes do ensaio. Para cada ensaio realizado foram registradas as cargas de ruptura, o diâmetro efetivo do corpo-de-prova e os tipos de ruptura. O equipamento empregado nos ensaios de resistência de aderência à tração foi Dinatest, modelo DS2-DPU-1100, com capacidade máxima de 5000N.

### **3.10.3 Extensão de aderência**

Para a análise da extensão de aderência, foi empregado o método adaptado descrito por Carasek (1996). Foram subtraídas as amostras (aos 28 dias) com serra diamantada e processadas com a finalidade de se obter uma superfície lisa, com cerca de 5 cm de comprimento e com a espessura obtida com o revestimento. Neste método de caracterização foram escolhidas 3 amostras aleatórias de cada um dos revestimentos executados. Então as amostras foram submetidas a uma lupa estereoscópica Leica MS 5, fotografadas com câmera digital acoplada Opticam, com ampliação de 63 vezes, a fim de identificar a extensão de aderência de forma qualitativa.

## 4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

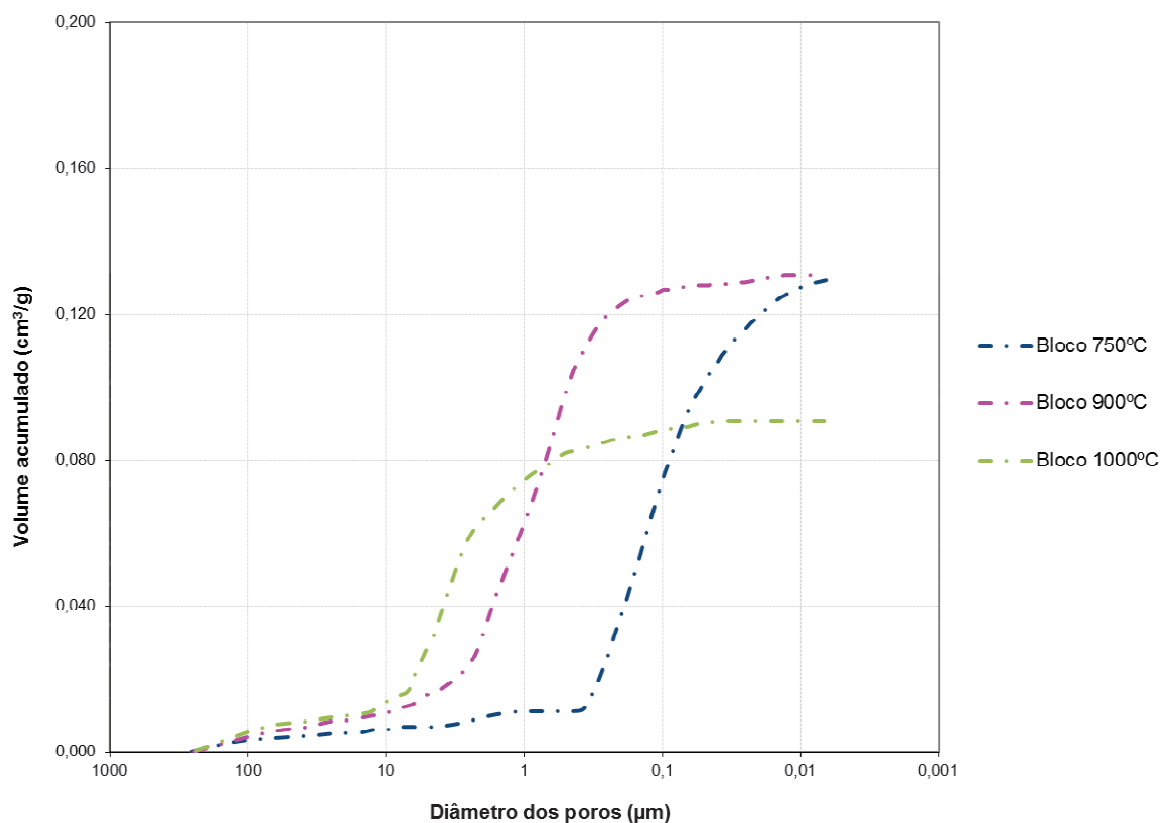
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados, assim como as análises dos dados obtidos.

### 4.1 SUBSTRATOS

Os resultados dos ensaios realizados de caracterização e controle dos substratos cerâmicos são apresentados nos subitens que seguem:

#### 4.1.1 Porosimetria por intrusão de mercúrio

A distribuição de poros das cerâmicas foi determinada a partir do procedimento de porosimetria por intrusão de mercúrio, cujos resultados podem ser visualizados na Figura 24:



**Figura 24 – Volume acumulado de poros por intrusão de mercúrio nos blocos sinterizados a 750, 900 e 1000°C.**

A distribuição de poros das cerâmicas varia em função da temperatura de queima, seguindo um comportamento esperado. Cultrone *et al.* (2004) observaram a partir ensaio de intrusão de mercúrio que os poros de menores aumentam na medida em que se aumenta a temperatura, enquanto os poros menores, tendem a diminuir de volume devido ao processo de vitrificação da argila, conforme já exposto.

Tabela 26 – Valores por porosimetria por intrusão de mercúrio nos substratos.

Tipo de substrato	Diâmetro médio do poros ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro crítico ( $\mu\text{m}$ )	Volume total de poros ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
Bloco 750°C	0,025	0,006577	0,129
Bloco 900°C	0,038	0,006744	0,131
Bloco 1000°C	0,044	0,006783	0,091

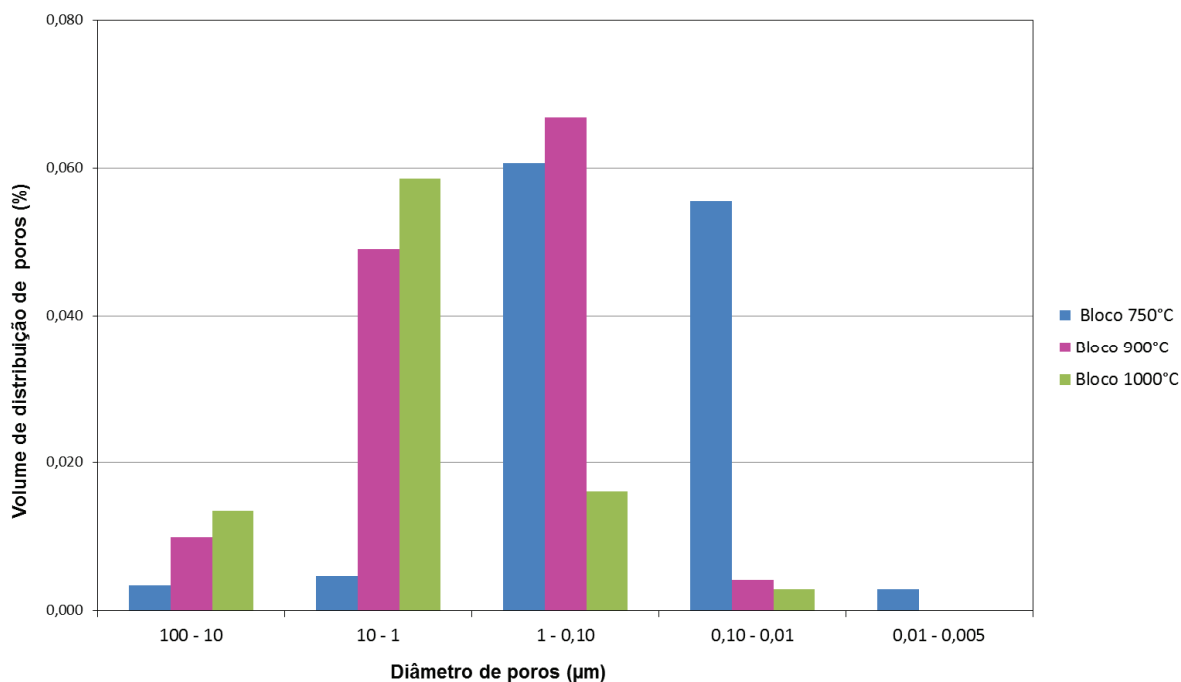


Figura 25 – Discriminação da porosidade dos substratos em faixas de distribuição de poros.

Observa-se, a partir dos dados da Tabela 26 e Figura 25, que a distribuição de poros das amostras é distinta, havendo similaridade no total de poros das curvas de distribuição dos blocos queimados em 900°C e 750°C (na ordem de 0,13  $\text{cm}^3/\text{g}$ ). Entretanto, percebe-se que a maioria dos poros dos blocos queimados a 750°C situa-se entre 0,01 e 1  $\mu\text{m}$ , possuindo um diâmetro médio menor do que os de 900°C, cuja maior concentração está entre 0,1 a 10  $\mu\text{m}$ , fato este que lhe confere maior absorção de água por capilaridade. Os blocos queimados a 1000°C possuem uma curva de distribuição de poros peculiar, em consequência de diferenças no processo de sinterização, concentrando principalmente na faixa de 1 a 10  $\mu\text{m}$ , o que lhe confere um diâmetro médio similar ao dos blocos queimados a 900°C, mas em função do seu volume total de poros ser inferior (0,009  $\text{cm}^3/\text{g}$ ), atribuindo-lhe uma capacidade de absorção capilar inferior.

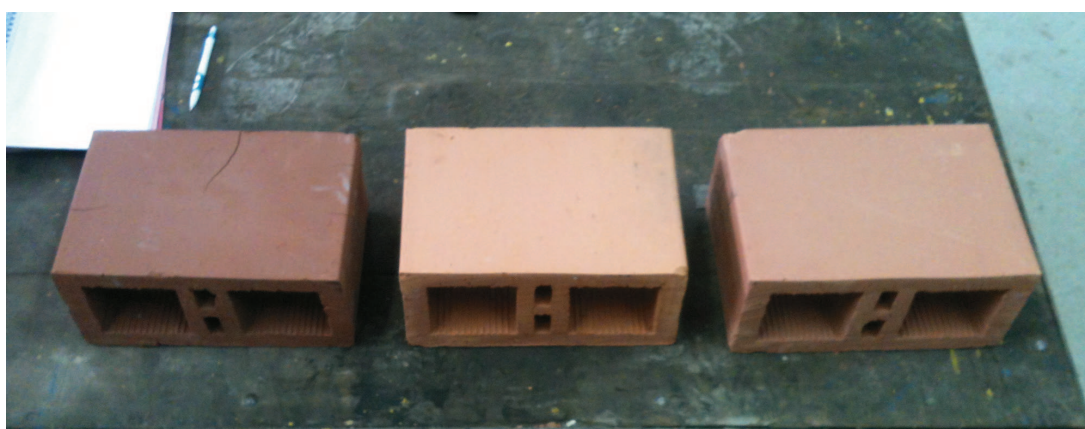
O mesmo comportamento de distribuição de poros para os blocos sinterizados em 900°C e 1000°C foi observado por Pagnussat (2013), em estudo em que os blocos estudados pelo autor apresentavam a maior distribuição de poros na faixa de 5  $\mu\text{m}$  a 0,5  $\mu\text{m}$ .

#### 4.1.2 Massa específica e absorção de água dos blocos utilizados como substrato

A massa específica e absorção de água dos blocos sinterizados (Figura 26) podem ser observadas na Tabela 27:

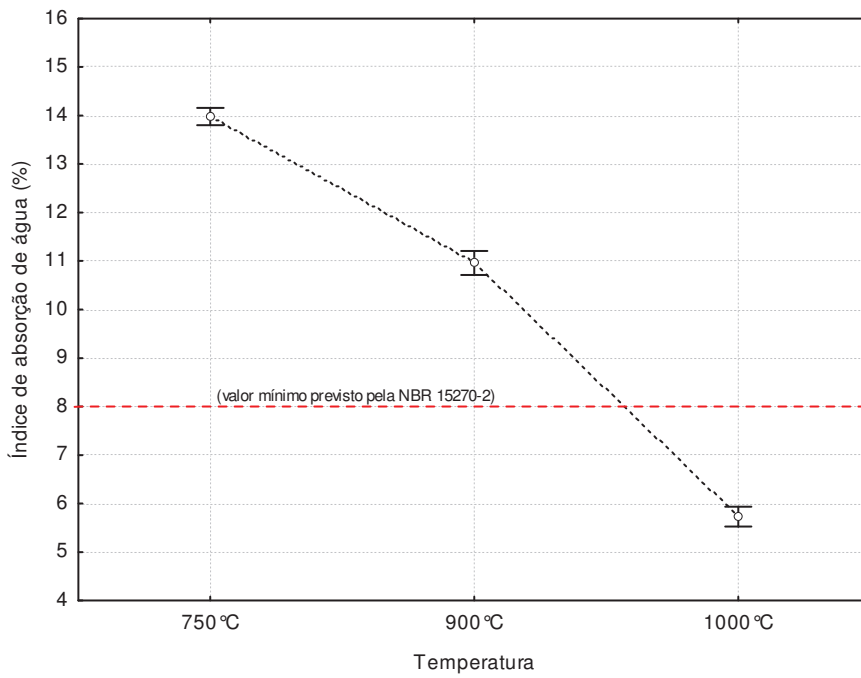
**Tabela 27 - Variação das características dimensionais dos blocos.**

Tipo de substrato	Massa específica		Absorção de água		Absorção de água inicial	
	Média (g/cm <sup>3</sup> )	CV	Média (%)	CV	Média ((g/193,55cm <sup>2</sup> ) min)	CV
Bloco a 750°C	0,969	1,1%	13,98	1,2%	12,48	4%
Bloco a 900°C	1,010	1,3%	10,96	1,1%	12,49	1%
Bloco a 1000°C	1,083	1,7%	5,73	1,4%	7,30	1%



**Figura 26 - Blocos sinterizados a 1000, 900 e 750°C, respectivamente.**

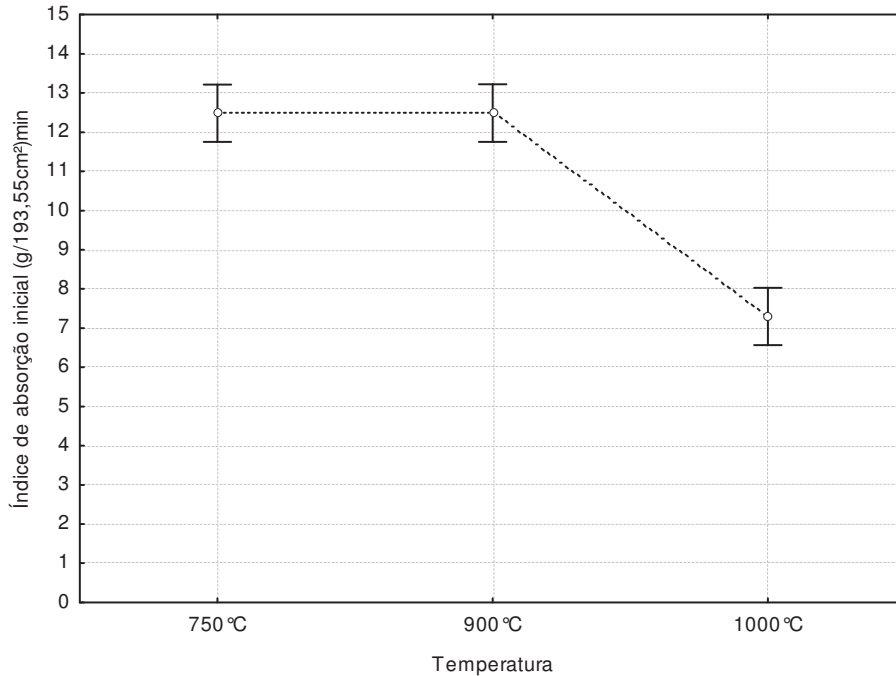
Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água encontram-se nas Figura 27 e Figura 28 :



**Figura 27 - Índice de absorção de água dos blocos ensaiados.**

O índice de absorção de água inicial resultante dos blocos encontra-se na Figura

28:



**Figura 28 - Índice de absorção de água inicial dos blocos ensaiados.**

O volume dos blocos diminui à medida que a temperatura de queima aumenta, e sua densidade cresce à medida que a temperatura de queima aumenta, seguindo o comportamento esperado para cerâmica vermelha (Pagnussat, 2013).

Observa-se que as diferentes temperaturas de sinterização ocasionaram perfis distintos de absorção total dos blocos. Conforme a NBR 15720-2 (ABNT, 2003), os blocos queimados nas temperaturas de 750 e 900°C encontram-se numa faixa de absorção aceitável, até 22%. Por outro lado, os blocos a 1000°C excluem-se deste requisito por apresentarem o índice inferior a 8%. A tendência de diminuição da porosidade livre que ocorre à medida que se incrementa a temperatura de sinterização também foi verificado por Johari et al. (2010).

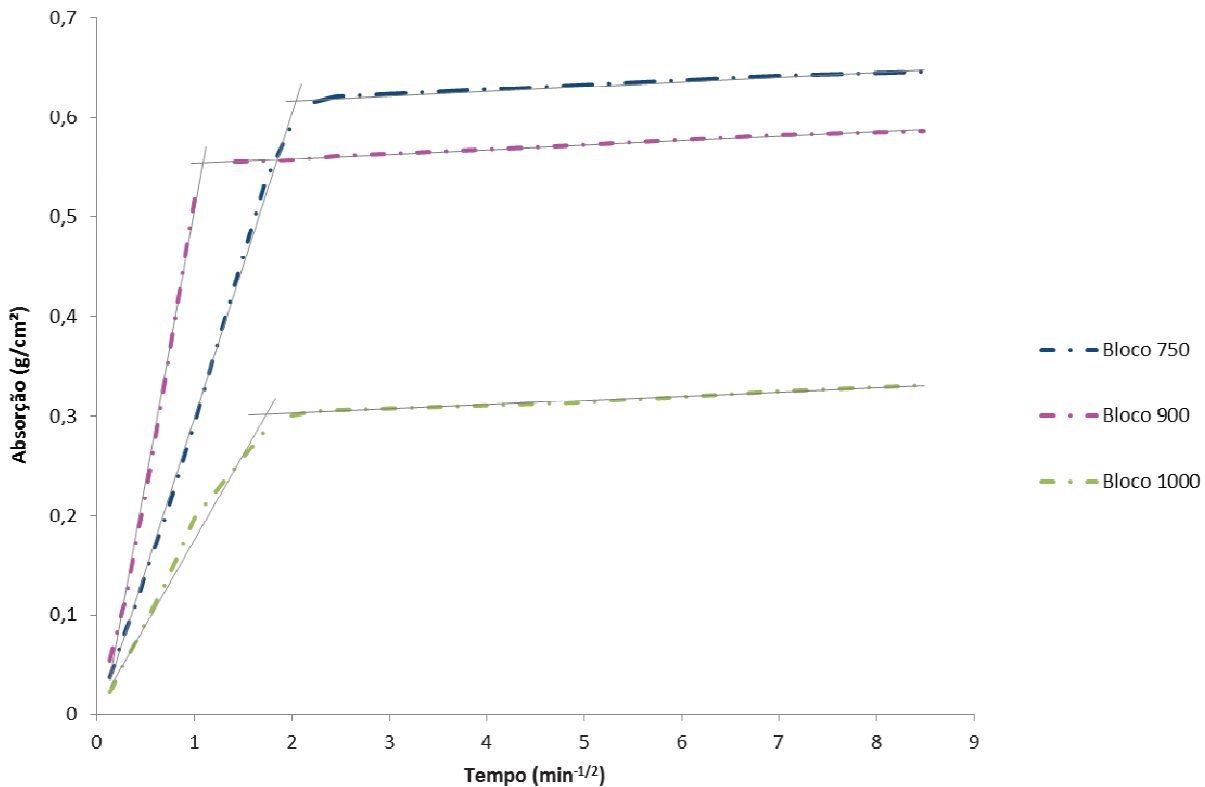
A absorção inicial dos blocos, regida pela capilaridade, apresenta um comportamento distinto do observado na absorção total, sendo que os blocos queimados a 750°C apresentam índice de absorção de água inicial muito próxima aos blocos sinterizados a 900°C.

A queda abrupta na absorção total no bloco 1000°C em relação às outras temperaturas, também foi observada por Vieira; Teixeira; Monteiro (2009), numa cerâmica sinterizada a 1100°C, e é atribuída pelos autores como influência do processo de vitrificação da massa de argila. A tendência de diminuição da porosidade livre à medida que se incrementa a temperatura de sinterização também foi verificado por Johari et al. (2010).

#### **4.1.3 Absorção de água total e capilar pelo método da Rilem TC 116 PCD (1999)**

Tendo em vista a inexistência de uma relação entre os valores de absorção total e os coeficientes de absorção capilar dos blocos, decidiu-se adotar a metodologia proposta pela Rilem TC 116 PCD para melhor avaliar estas propriedades, em especial a absorção capilar dos blocos em cada temperatura de queima, pois se partiu da premissa de que esta propriedade se relaciona com a aderência dos chapiscos e revestimentos.

A Figura 29 apresenta o perfil de absorção das cerâmicas em cada temperatura de queima, obtidos a partir da absorção de água por capilaridade empregada juntamente com o método Rilem TC 116 PCD (1999):



**Figura 29 – Perfil de absorção dos blocos.**

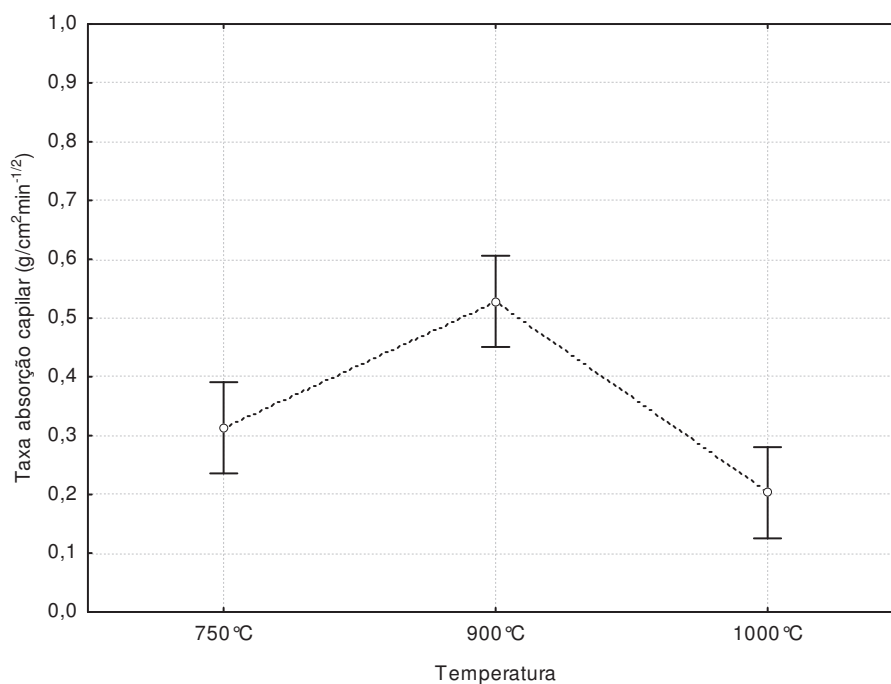
Evidencia-se que a absorção dos blocos é representada por dois perfis distintos de absorção capilar. A primeira reta refere-se à fase de sucção capilar e a segunda reta representa uma fase de saturação. O fenômeno ocorre em duas etapas distintas, a primeira regida pela capilaridade dos blocos e a segunda regida pela absorção de água.

Na etapa de absorção inicial, regida pela capilaridade das amostras, os blocos sinterizados a 900°C possuem a maior absorção, seguidos pelos blocos de 750°C, e os blocos queimados a 1000°C possuem a menor absorção inicial. Este comportamento se mantém ao menos ao longo do minuto inicial de contato com a água, para os materiais ensaiados, e neste caso específico, corresponde ao mesmo tempo adotado no ensaio de absorção de água inicial. Neste momento, a absorção do bloco de 900°C é cerca de 100% superior ao do bloco de 750°C e quase 200% superior a do bloco queimado a 1000°C.

A inclinação da reta 1 está relacionada à velocidade em que ocorre a entrada de água nas amostras (por capilaridade), uma vez que, quanto mais inclinada a reta, maior a massa de água absorvida em menor tempo. Os resultados obtidos são coerentes com os observados nos ensaios de absorção de água inicial, primeiro minuto, embora existam diferenças nos valores encontrados, em função das características da metodologia empregada.



A taxa de absorção capilar obtida através do ensaio pelo da Rilem TC 116 PCD (1999) encontra-se na Figura 30:



**Figura 30 - Comportamento dos blocos em função da taxa de absorção capilar.**

Os resultados de absorção capilar de água foram analisados através da análise de variância (ANOVA), considerando o efeito isolado da temperatura na taxa de absorção capilar das cerâmicas, e encontram-se na Tabela 28:

**Tabela 28 - Análise de variância (ANOVA) da taxa de absorção capilar.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Temperatura	2	0,1810	0,0030	27,30658	5,143253	0,00097	S
Erro	8	0,1828					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de 'p' inferior a 0,05).

A taxa de absorção capilar, regida pela absorção capilar, referente aos blocos encontra-se na Tabela 29:

**Tabela 29 – Comportamento da absorção capilar dos blocos (Rilem TC 116 PCD) e absorção de água inicial (NBR 15270-3).**

Tipo de substrato	Taxa de absorção capilar ( $\text{g}/\text{cm}^2 \text{min}^{-1/2}$ )	CV	Absorção de água inicial ( $\text{g}/193,55\text{cm}^2$ ) min	CV
Bloco 750°C	0,313	20%	12,48	4%
Bloco 900°C	0,528	4%	12,49	1%
Bloco 1000°C	0,202	33%	7,30	1%

Quanto à taxa de absorção capilar, a relação de comportamento entre os dois métodos apresentam-se distintos. Verifica-se que os resultados obtidos pelo ensaio da NBR 15720-3 (ABNT, 2003) frente ao método da Rilem TC 116 PCD (1999). O bloco 900°C em relação ao 750°C apresenta um decréscimo de 0,08% pelo primeiro método. Por outro lado, observa-se que diferença entre o bloco 900°C e 750°C varia de cerca de 69% pelo método da Rilem .

Ao comparar-se o ensaio da NBR 15720-3 (ABNT, 2003) frente ao método da Rilem TC 116 PCD (1999), verifica-se as seguintes variações adotadas: profundidade de imersão do corpo de prova (5 mm no primeiro caso e 3 mm, no segundo); dimensão do corpo de prova (bloco / seccionado) e tipo de contato com a lâmina de água (face a revestir e pequena fração da faces de assentamento / somente a face a revestir com argamassa, com o isolamento das demais).

Na segunda etapa do processo de absorção de água pela cerâmica, que ocorre imediatamente após o término da ação da força capilar, nos blocos inicia-se o processo de saturação por absorção de água, verificando-se uma inversão de comportamento entre eles, em função da mudança do mecanismo de penetração de água. Os resultados demonstram que o bloco queimado a 750°C absorve a maior quantidade de água, seguido pelo bloco 900°C e por fim, pelo bloco 1000°C, sendo coerente com o observado no ensaio de absorção total da NBR 15720-3 (ABNT, 2003) e com os valores de massa específica constantes na Tabela 27.

A Tabela 30 apresenta a porosidade total dos blocos ensaiados através do método da Rilem TC 116 PCD:

**Tabela 30 – Índice de porosidade total dos blocos pelo método da Rilem.**

Tipo de substrato	Porosidade total Média (%)	CV
Bloco a 750°C	25,893	8%
Bloco a 900°C	24,671	9%
Bloco a 1000°C	13,941	6%

Os resultados de absorção capilar de água foram analisados através da análise de variância (ANOVA), considerando o efeito isolado da temperatura na porosidade total das cerâmicas, e encontram-se na Tabela 31:

**Tabela 31 - Análise de variância (ANOVA) da porosidade total.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Temperatura	2	259,5067	129,7534	36,65579	5,143253	0,000433	S
Erro	8	280,7454					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de 'p' inferior a 0,05).

O método da RILEM permite a análise da absorção ao longo de todo o período de absorção capilar do substrato, o que pode ser útil para a avaliação da interação entre o chapisco, a argamassa e a base, a partir do momento em que entram em contato entre si e se inicia o processo de migração dos compostos em solução da argamassa para os poros da base. Estima-se que todo o período de absorção capilar irá influenciar na aderência do chapisco, em função da expressiva migração de água para os blocos.

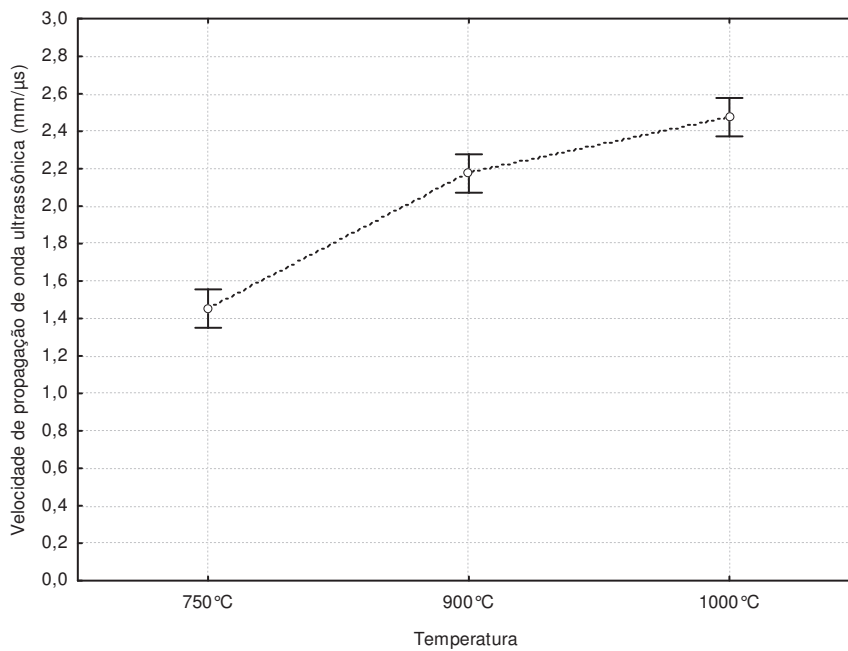
Na Tabela 32 pode-se verificar a evolução dos coeficientes de absorção de água por capilaridade para as cerâmicas ao longo do tempo:

**Tabela 32 – Absorção capilar pela Rilem nos blocos.**

Tipo de substrato	Absorção Média $\text{g/cm}^2\text{min}^{-1/2}$					Saturação	
	0,129 (1 min)	0,182 (2 min)	0,223 (3 min)	0,258 (4 min)	(0,288) 5 min	Tempo (min <sup>1/2</sup> )	$\text{g/cm}^2$
Bloco a 750°C	0,038	0,051	0,065	0,075	0,084	1,99	0,616
Bloco a 900°C	0,055	0,075	0,090	0,104	0,114	1,00	0,554
Bloco a 1000°C	0,022	0,032	0,040	0,048	0,054	1,55	0,299

#### 4.1.4 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

Com o objetivo de avaliar a quantidade de poros preenchida com os produtos de hidratação do chapisco e da argamassa utilizada no programa experimental, foi determinada a velocidade de passagem de ondas ultrassônicas nos três tipos de substrato cerâmico a serem utilizados. Na Figura 31 e Tabela 33 é possível visualizar os resultados dos ensaios:



**Figura 31 – Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas nos substratos.**

**Tabela 33 – Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.**

Tipo de substrato	Média (mm/μs)	CV
Bloco a 750°C	1,45	3%
Bloco a 900°C	2,17	8%
Bloco a 1000°C	2,47	7,3%

A velocidade de propagação de onda ultrassônica cresce conforme a temperatura de sinterização aumenta. Segundo Berutti (2004) este comportamento é atribuído pelo fato da propagação das ondas ultrassônicas serem influenciada pelas características do material pelo qual se propaga: módulo de elasticidade, densidade do material, que são dependentes das quantidades relativas das várias fases e dos defeitos presentes nas cerâmicas. Assim, o aumento de temperatura de sinterização tem como principal efeito sobre as cerâmicas a sua densificação, à custa de redução da porosidade e, conseqüente aumento da velocidade de propagação de onda ultrassônica.

A Tabela 34 apresenta a análise de variância entre os valores de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas nos substratos:

**Tabela 34 - Análise de variância (ANOVA) da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Temperatura	2	1,65610	0,82805	53,65658	5,14325	0,00014	S
Erro	8	1,74870					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de 'p' inferior a 0,05).

#### 4.1.5 Microscopia eletrônica de varredura

As imagens de microscopia eletrônica de varredura obtidas dos blocos, por se tratarem de subsídio qualitativo, auxiliam na visualização das estruturas internas dos materiais estudados. Na sequência encontram-se as imagens obtidas:

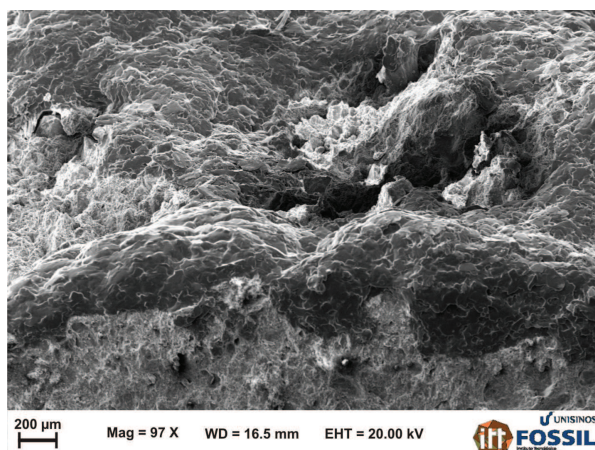


Figura 32 - Imagem da cerâmica 750°C – magnificação 97 vezes.

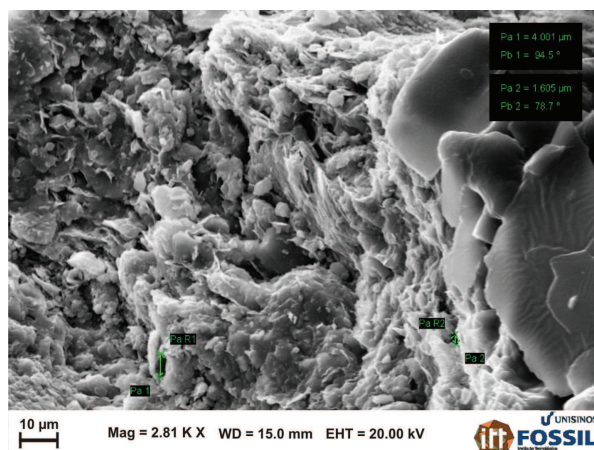


Figura 33 – Estrutura interna da cerâmica 750°C – magnificação 2810 vezes.

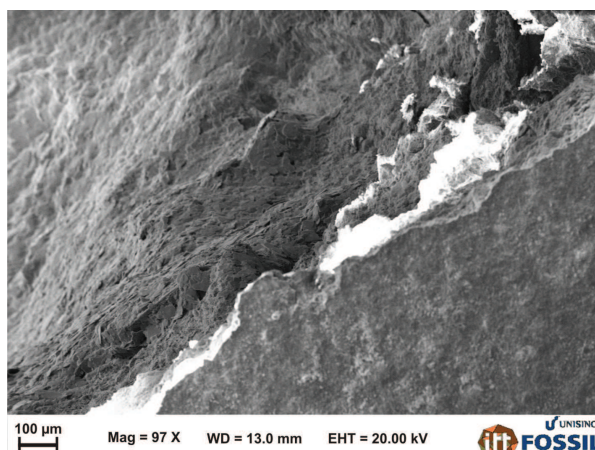


Figura 34 – Imagem da cerâmica 900°C – magnificação 97 vezes.

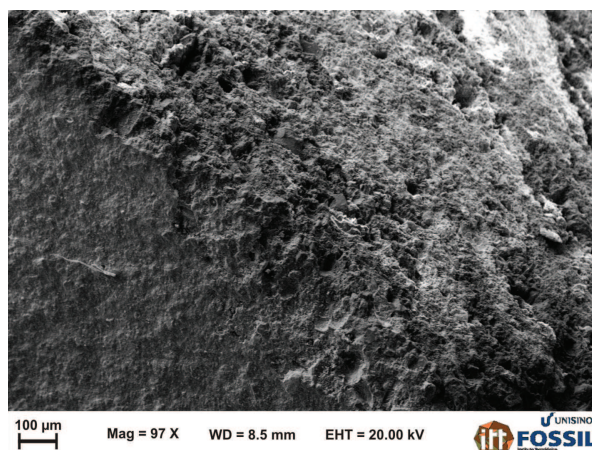


Figura 36 - Imagem da cerâmica 1000°C – magnificação 97 vezes.

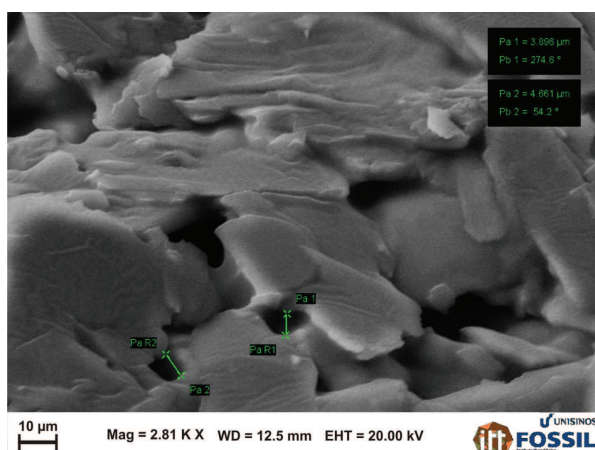


Figura 35 - Estrutura interna da cerâmica 900°C – magnificação 2810 vezes.

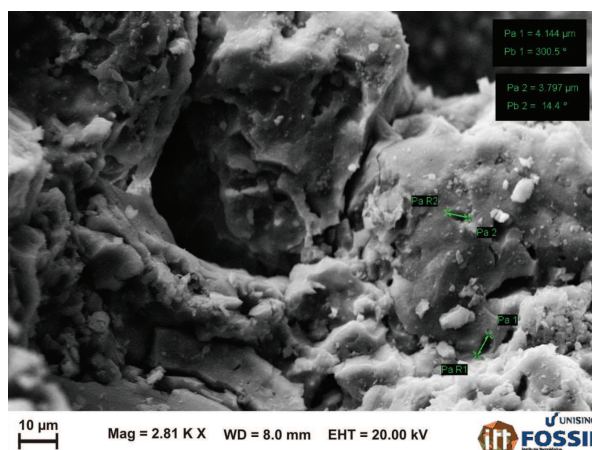


Figura 37 – Estrutura interna da cerâmica 1000°C – magnificação 2810 vezes.

Com o auxílio das imagens, observa-se que a cerâmica 750°C apresenta uma formação lamelar com orientação bem definida (Figura 32) Na parte inferior da imagem encontra-se a superfície da amostra, cujo aspecto granular e áspero pode ser percebido.

Na Figura 33 é revelada a estrutura interna da amostra. Percebe-se a formação de muitas arestas angulosas e a formação de alguns poros.

A cerâmica 900°C apresenta uma superfície mais definida (Figura 34 - seção inferior direita). A formação lamelar é menos pronunciada e a conformação de poros mais evidente entre as lâminas.

Na Figura 35 observa-se que as formações lamelares encontram-se com menos arestas e muitas delas fundidas entre si. Os poros evidenciam-se por uma tendência de contornos mais esféricos.

A imagem da cerâmica 1000°C apresenta no lado esquerdo inferior à superfície da amostra (Figura 36), que se conforma por ser mais áspera. A formação do interior da amostra é mais granular.

A Figura 37 apresenta a formação de cristais aderidos nas estruturas predominantes com a presença de poros mais refinados.

#### 4.1.6 Análise dos métodos de indicadores de porosidade

Ao compararem-se os diferentes métodos de ensaio empregados, dadas as suas particularidades de medida, através da análise de tendência linear, com  $\alpha$  igual a 0,05, observa-se as seguintes relações lineares apresentadas na Tabela 35:

**Tabela 35 - Coeficientes de determinação entre os métodos de ensaios diretos e indiretos de porosidade.**

<i>Método de ensaio</i>	<i>AAI NBR</i>	<i>AA RILEM</i>	<i>AAI RILEM (S)</i>	<i>PIM (VTP)</i>	<i>PIM (VTP)*</i>	<i>PIM (Dm)</i>	<i>VPOU</i>
AA NBR	0,868	0,9252	0,2237	0,9847	0,8378	0,8739	0,8577
AAI NBR		0,9911	0,5787	0,9399	0,9982	0,5505	0,5267
AA RILEM			0,4843	0,9768	0,9812	0,6432	0,6203
AAI RILEM				0,3346	0,6206	0,0167	0,0111
PIM (VTP)					0,918	0,7808	0,7608
PIM (VTP)*						0,5078	0,484
PIM (Dm)							0,9994

Onde: AA = índice de absorção total; AAI = absorção de água inicial; PIM = porosimetria por intrusão de mercúrio – porosidade total; VPOU = velocidade de ondas ultrassônicas; VTP = volume total de poros na faixa de diâmetro de 0,005 a 100  $\mu\text{m}$ ; VTP\* = volume total de poros; Dm = diâmetro médio; S = taxa de absorção capilar.

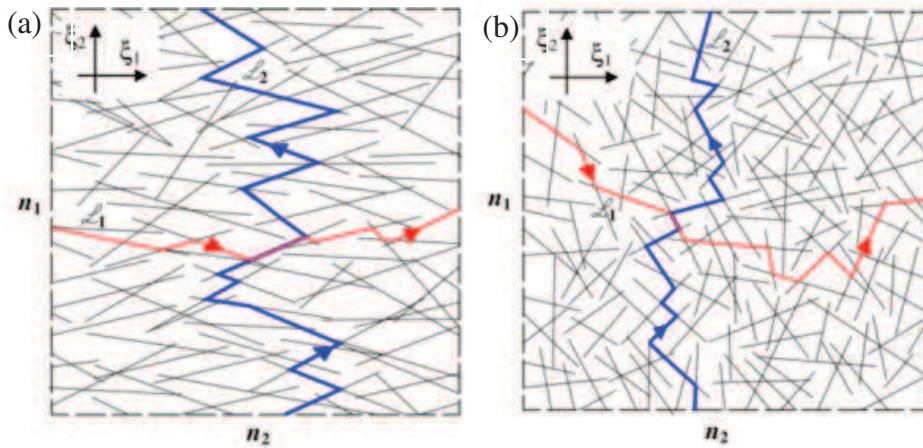
Com relação à comparação dos métodos de ensaio, pode-se verificar que métodos de absorção (absorção de água inicial – NBR 15270-3 - e absorção de água inicial adaptado para o método da Rilem TC 116 PCD) apresentam baixo coeficiente de determinação ( $R^2=0,5787$ ). Isto ocorre devido ao tempo de imersão dos espécimes, uma vez que pelo método AAI (NBR 15720-3) se restringe a um minuto e apresenta as faces laterais parcialmente imersas. Contudo, a obtenção da taxa de absorção capilar pelo método da Rilem, além das faces laterais estarem restritas à absorção, esta medida ocorre ao longo do tempo, até o ponto de saturação da amostra.

O ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio (volume total de poros) versus o método de absorção de água adaptado para o método da Rilem TC 116 PCD apresenta um bom coeficiente de determinação ( $R^2=0,9812$ ). O método de absorção adaptado, por sua característica de saturação da amostra ao longo do tempo (72 horas) e obtenção da porosidade total, mostrou-se mais preciso (mesmo com a imersão parcial amostra). Cabe ressaltar que o método da NBR 15270-3: ABNT (2003) de absorção de água, em relação à porosimetria ( $R^2=0,8378$ ) encontra-se abaixo do nível de significância  $\alpha$  igual a 0,05. Este comportamento pode ser explicado pelo pouco tempo de imersão em água (24 horas), sem a identificação do ponto de saturação e o volume superior da amostra (bloco). Quanto à relação entre os ensaios de porosimetria (diâmetro médio) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, verifica-se uma elevada tendência de comportamento ( $R^2=0,9994$ ), uma vez que os dados obtidos em ambos os ensaios consistem em valores médios.

O coeficiente de determinação ( $R^2= 0,9252$ ) entre os ensaios de absorção de água (NBR e Rilem) pode ser explicada pela semelhança das técnicas quanto à obtenção da porosidade total, porém com restrições de saturação já mencionadas. Evidencia-se que o emprego das duas técnicas (AA Rilem e AA NBR x PIM – porosidade total) apresenta tendência de relação muito próximas.

A crítica que se apresenta ao método da NBR 15270-3 para a caracterização do indicador de porosidade (capilar) tange no sentido que o movimento da água para o interior do substrato é influenciado pela orientação da face imersa em água. Neste método ocorre a exposição tanto das faces laterais quanto da(s) face(s) inferior(es), conforme já afirmado. Conforme comentado por Gummerson; Hall; Hoff (1980) e comprovado por Krakowiak; Lourenço; Ulm (2011), o movimento de água através dos poros capilares é facilitado ao longo da direção de extrusão, dado o alinhamento microestrutural dos poros e/ou a microestrutura laminar na amostra. A Figura 38 apresenta o esquema bidimensional da cerâmica com os

capilares e o perfil de penetração de água para duas orientações de face: a) orientação capilar com tendência de paralelismo ao sentido da extrusão massa argilosa, b) alinhamento com distribuição isotrópica:



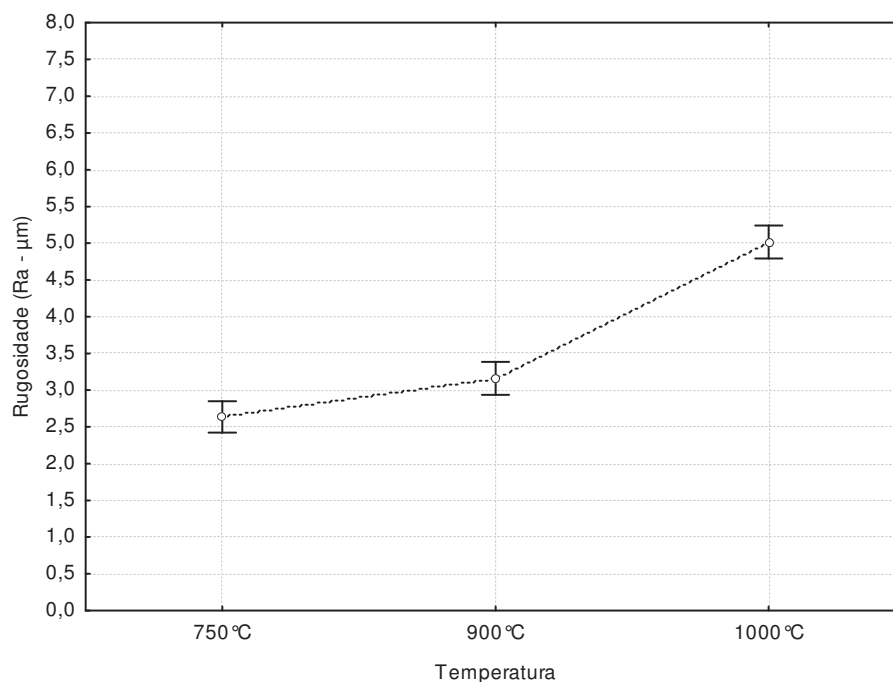
**Figura 38 – Esquema bidimensional da porosidade da cerâmica. Fonte: Krakowiak; Lourenço; Ulm (2011).**

O método adaptado de absorção pela Rilem TC 116 PCD contempla exclusivamente a face a revestir, sem que ocorram interferência de absorção dos poros capilares oriundos das faces laterais dos blocos.

#### 4.1.7 Rugosidade das faces

A avaliação das propriedades das cerâmicas foi complementada com a determinação da rugosidade das superfícies, a partir do uso de um rugosímetro. Os valores de rugosidade média das cerâmicas são apresentados na Figura 39 e Tabela 36:





**Figura 39 - Rugosidades médias (Ra -  $\mu\text{m}$ ) obtidas para os diferentes blocos em função da temperatura de sinterização.**

**Tabela 36 - Rugosidades médias das cerâmicas.**

Condição	Rugosidade média (Ra)	
	Média ( $\mu\text{m}$ )	CV
Bloco a 750°C	2,63	11%
Bloco a 900°C	3,16	14%
Bloco a 1000°C	5,01	7%

Pela análise de variância (ANOVA- Tabela 37), os resultados de rugosidade em função da temperatura de sinterização das cerâmicas, verifica-se o efeito significativo da temperatura sobre a rugosidade superficial.

**Tabela 37 - Análise de variância (ANOVA) da rugosidade Ra ( $\mu\text{m}$ ) entre blocos**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F-crítico	Valor de P	Efeito significativo
Temperatura	2	38,42710	19,21355	132,16885	3,27589	9,23E-17	S
Erro	36	43,36972					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada; S = significativo.

Observa-se que a rugosidade superficial média do substrato aumenta à medida que a temperatura de sinterização, sendo que a rugosidade da cerâmica sinterizada a 1000°C é 90% superior à cerâmica queimada a 750°C.

Salienta-se que, diferentemente dos resultados de rugosidade obtidos por Pagnussat (2013), em que o autor analisou esta propriedade em superfícies de cerâmicas sinterizadas a 700, 800, 900 e 1000°C através de um Scanner 3D e não verificou diferenças entre os substratos, as análises com rugosímetro apresentam diferenças estatisticamente

significativas entre as rugosidades obtidas. Os valores de rugosidade também são corroborados pelas imagens obtidas nas análises com MEV, que já indicavam a existência de diferenças de rugosidade superficial entre os substratos utilizados.

#### 4.1.8 Resistência à tração

Os resultados obtidos de resistência à tração para os diferentes blocos (ensaio realizado na superfície dos blocos) encontram-se na Tabela 38:

**Tabela 38 - Resistência à tração nos blocos.**

Tipo de substrato	Resistência à tração	
	Média (MPa)	CV
Bloco a 750°C	0,74	1%
Bloco a 900°C	2,52	5%
Bloco a 1000°C	3,00	7%

O bloco sinterizado a 750°C possui valor de resistência à tração muito inferior aos demais. Segundo Arnold (2011), valores muito baixos de resistência à tração podem influir nos resultados de resistência de aderência das argamassas, apresentando ruptura no substrato, dependendo da carga de tração a que o substrato estiver submetido.

## 4.2 ARGAMASSAS DE CHAPISCO NO ESTADO FRESCO

### 4.2.1 Índice de consistência por espalhamento, retenção de água, teor de ar incorporado e densidade de massa

O índice de consistência, retenção de água, teor de ar incorporado e densidade de massa resultantes das argamassas de chapisco foram obtidos pela média das medidas tomadas durante o ensaio. A Tabela 39 apresenta os resultados obtidos:

**Tabela 39 - Média dos valores para índice de consistência por espalhamento, retenção de água, teor de ar incorporado e densidade de massa.**

Argamassa de chapisco	Índice de consistência		Retenção de água		Ar incorporado		Densidade de massa	
	Média (mm)	CV	Média (%)	CV	Média (%)	CV	Média (kg/m <sup>3</sup> )	CV
Referência	388,75	1%	99,06	0,1%	3,7	35%	2.115,19	0,6%
5%	380,50	2%	99,03	0,3%	2,8	17%	2.120,66	1,8%
10%	395,00	0,6%	99,10	0,1%	3,0	52%	2.135,57	1%

Considerando que o índice de consistência por espalhamento sofreu pequenas variações, podem-se considerar estes valores constantes.

Quanto aos resultados de retenção de água, as argamassas apresentam um mesmo comportamento com valores elevados, sendo que a adição da CCA não alterou esta propriedade. O teor de ar apresenta variação pouco expressiva entre as argamassas de chapisco e seu valor é considerado baixo, conforme observou Gasperin (2011) ao analisar a

mesma propriedade em sua pesquisa. A densidade de massa no estado fresco tem um pequeno aumento em função da adição de cinza, porém com variação pouco expressiva.

#### 4.2.2 Squeeze-flow

A determinação da trabalhabilidade das argamassas de chapisco foi realizada pelo ensaio de squeeze-flow, uma vez que o ensaio de consistência não é suficiente para identificar as diferenças de trabalhabilidade das argamassas. Os resultados obtidos estão expressos na Figura 40:

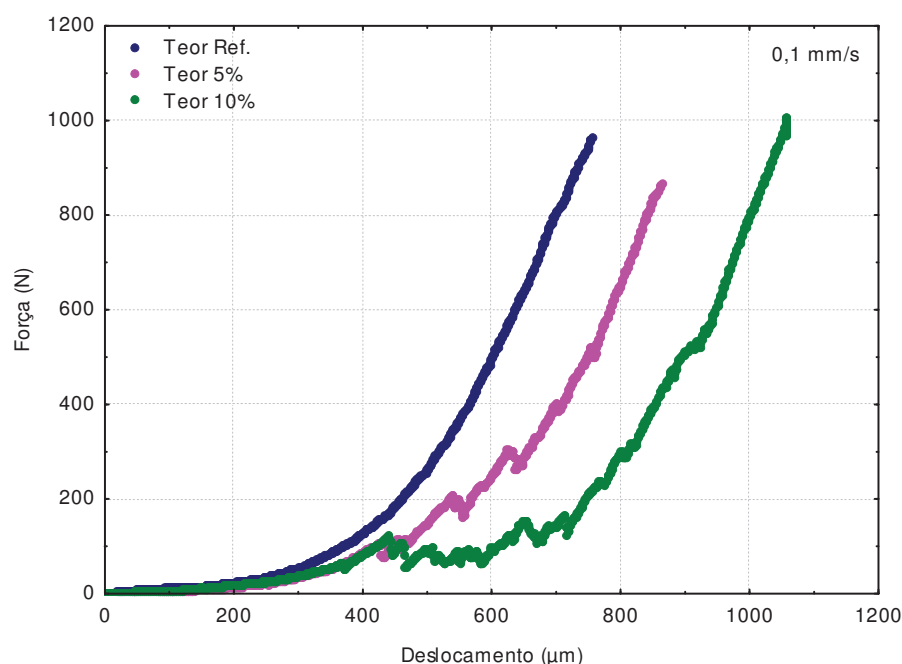


Figura 40 – Resultados do squeeze-flow das argamassas de chapisco.

A adição de cinza na argamassa resulta em maior deslocamento para um mesmo nível de tensão, caracterizando uma argamassa com menor viscosidade. Quanto maior o teor de adição, menor a viscosidade. Este comportamento pode ser explicado pela presença da CCA, que por suas características de maior superfície específica, propiciam melhor lubrificação entre as partículas, favorecendo o deslocamento da argamassa.

### 4.3 ARGAMASSAS DE CHAPISCO NO ESTADO ENDURECIDO

#### 4.3.1 Absorção de água por capilaridade, determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica

Na Tabela 40 encontram-se os resultados dos ensaios realizados:

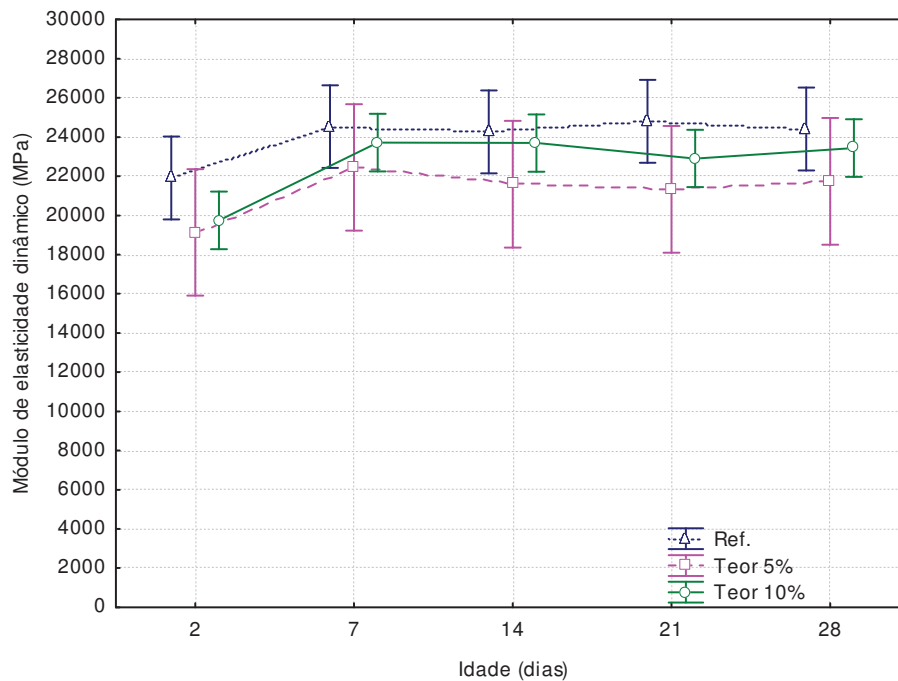
**Tabela 40 – Absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica.**

Argamassa de chapisco	Absorção capilar		Absorção total		Índice de vazios		Massa específica	
	Média (g/cm <sup>2</sup> )	CV	Média (%)	CV	Média (%)	CV	Média (g/cm <sup>3</sup> )	CV
Referência	1,72	15%	10,74	3%	21,96	2%	2,62	0,1%
5%	2,15	3%	11,48	2%	23,06	2%	2,61	0,2%
10%	2,54	10%	11,36	2%	22,96	1%	2,62	0,1%

Observa-se que a substituição de cimento por CCA resultou num pequeno acréscimo da absorção de água da argamassa, tanto por capilaridade quanto por imersão, mas não alterou os valores de índice de vazios e de massa específica real.

#### 4.3.2 Módulo de elasticidade dinâmico

Na Figura 41 encontram os valores de leitura realizados nas argamassas de chapisco:



**Figura 41 - Variação do módulo de elasticidade dinâmico ao longo do tempo.**

A principal variação no módulo de elasticidade observada ocorre até 7 dias. Após este período, mantém-se praticamente inalterado e com inexpressiva diferença entre as argamassas testadas.

Na Tabela 41 encontra-se o valor do módulo de elasticidade dinâmico dos chapiscos aos 28 dias:

**Tabela 41 – Módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias.**

Argamassa de chapisco	Resultados	
	Média (MPa)	CV
Referência	23.506	7%
5%	21.744	6%
10%	23.444	4%

### 4.3.3 Resistências à compressão e à tração na flexão, determinação da variação dimensional e densidade de massa

Na Tabela 42 encontram-se os resultados obtidos:

**Tabela 42 – Resultados das resistências à compressão e tração na flexão e variação dimensional.**

Argamassa de chapisco	Resultados							
	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão		Variação dimensional		Densidade de massa	
	Média (MPa)	CV	Média (MPa)	CV	Média (mm/m)	CV	Média (kg/m <sup>3</sup> )	CV
Referência	8,66	3%	3,04	8%	-0,037	2%	2.004,08	1%
5%	7,77	15%	3,63	2%	-0,045	2%	2.032,22	2%
10%	7,59	15%	3,39	10%	-0,042	3%	2.045,58	1%

Nas propriedades de resistências à compressão e à tração na flexão, variação dimensional e densidade de massa para argamassas de chapisco, foram observadas variações pouco significativas.

De uma forma geral, a substituição parcial de cimento por cinza de casca de arroz, nas propriedades analisadas, quanto aos estados fresco e endurecido, não apresentaram valores muito discrepantes à argamassa de chapisco referência

## 4.4 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO FRESCO

A argamassa empregada durante o programa experimental foi mantida constante. Assim, a mesma foi caracterizada da mesma forma que as demais argamassas (chapisco), de forma que seja possível identificar a sua influência nas propriedades ensaiadas no conjunto.

### 4.4.1 Índice de consistência por espalhamento, retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado

Na Tabela 43 encontram-se os resultados das propriedades ensaiadas:

**Tabela 43 - Consistência por espalhamento, retenção de água, densidade de massa e ar incorporado.**

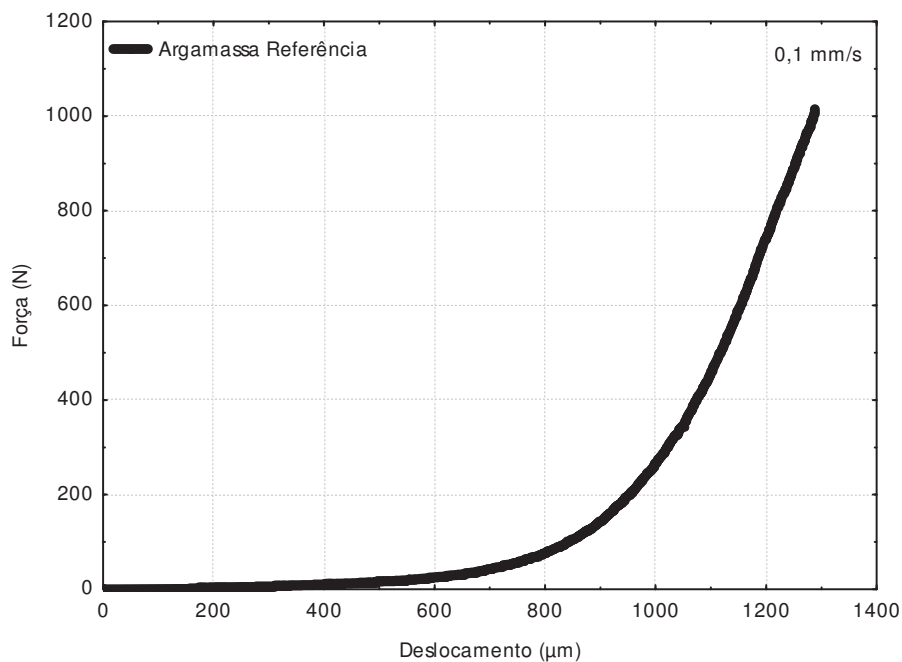
Argamassa de revestimento	Média
Índice de consistência por espalhamento	264 mm
Retenção de água	97%
Densidade de massa	2.053 kg/m <sup>3</sup> .
Teor de ar incorporado	5,2%

A consistência da argamassa por espalhamento foi obtida dentro dos parâmetros estipulados no programa experimental. Foram tomadas quatro medidas, em que se obteve uma média de 264 mm, com um coeficiente de variação de 0,3%.

Em função da alta retenção de água observada, Bauer (2005) afirma que o uso de partículas muito finas, como a da cal empregada, proporciona uma elevada área específica e tendem a manter a água adsorvida nestas partículas.

#### 4.4.2 Squeeze-flow

A Figura 42 apresenta o resultado para o ensaio de squeeze-flow:



**Figura 42 – Comportamento da argamassa de revestimento aos 15 minutos.**

#### 4.5 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO ENDURECIDO

Além dos ensaios realizados no estado fresco, logo após a mistura da argamassa, foram realizados ensaios, alguns durante o processo de cura e outros no estado endurecido, em diferentes idades.

A Tabela 44 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido:

**Tabela 44 - Médias obtidas nos ensaios no estado endurecido.**

Argamassa de revestimento	Média	CV
Absorção de água por capilaridade	3,06 g/cm <sup>2</sup>	16%
Absorção de água	13,02%	1%
Índice de vazios	24,77%	1%
Massa específica	2,53 g/cm <sup>3</sup>	1%
Módulo de elasticidade dinâmico	11.081 MPa	3%
Resistência à compressão	4,21 MPa	6%
Resistência à tração na flexão	1,65 MPa	5%
Densidade de massa	1.881,93 kg/m <sup>3</sup>	1%
Variação dimensional	0,066 mm	5%
Resistência à tração	0,15 MPa	13%

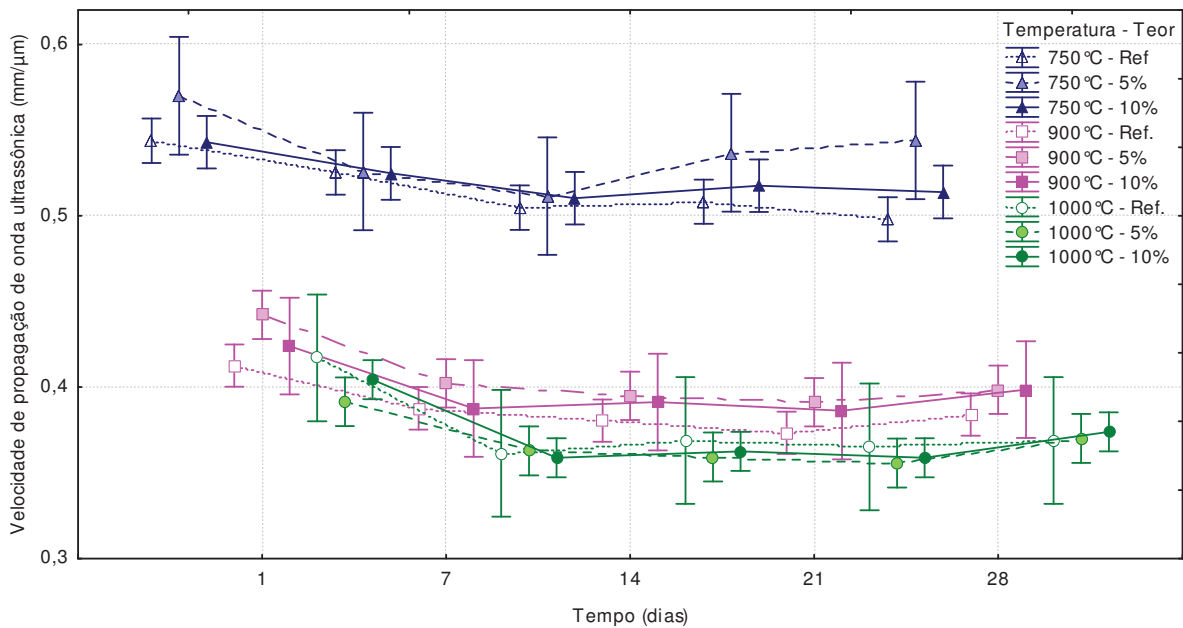
#### **4.6 PROPRIEDADES DO SISTEMA DE REVESTIMENTO**

Ao analisarmos os resultados das propriedades do sistema de revestimento, é importante observar a incidência de fissuração na camada de revestimento. O acompanhamento da fissuração nos blocos empregados revelou que não ocorreu esta manifestação patológica ao longo dos 28 dias em que os mesmos foram observados. Isto pode ser explicado pelo controle dos chapiscos sobre a água absorvida pelo bloco frente à argamassa de revestimento. Neste sentido, as condições de cura no laboratório foram suficientes para controlar a evaporação de água do revestimento para o meio.

Os ensaios das propriedades do sistema de revestimento são descritos abaixo:

##### **4.6.1 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas**

Na Figura 43 e Tabela 45 encontram-se os valores de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no sistema de revestimento:



**Figura 43 - Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no sistema de revestimento, ao longo do tempo.**

**Tabela 45 - Média das velocidades ultrassônicas do sistema de revestimento.**

Temperatura (°C)	Teor (%)	VPOU substrato	VPOU 1 dia	VPOU 7 dias	VPOU 14 dias	VPOU 21 dias	VPOU 28 dias	Diferença VPOU Média (mm/μs)
		Média (mm/μs)	Média (mm/μs)	Média (mm/μs)	Média (mm/μs)	Média (mm/μs)	Média (mm/μs)	
750	Ref.		0,54	0,53	0,50	0,51	0,50	-0,05
	5	1,45	0,57	0,53	0,51	0,54	0,54	-0,03
	10		0,54	0,52	0,51	0,52	0,51	-0,03
900	Ref.		0,41	0,39	0,38	0,37	0,38	-0,03
	5	2,17	0,44	0,40	0,39	0,39	0,40	-0,04
	10		0,42	0,39	0,39	0,39	0,40	-0,03
1000	Ref.		0,42	0,36	0,37	0,37	0,37	-0,05
	5	2,47	0,39	0,36	0,36	0,36	0,37	-0,02
	10		0,40	0,36	0,36	0,36	0,37	-0,03

Onde: VPOU = velocidade de propagação de onda ultrassônica;

Observam-se neste ensaio dois comportamentos distintos para o sistema de revestimento. Os substratos de 750°C revestidos apresentam maior velocidade de propagação de ondas. Este comportamento indica que a interação entre substrato e argamassas de chapisco e revestimento proporcionou maior densificação ao sistema, em função de uma provável colmatação de poros superficiais. Por outro lado, os conjuntos com substratos de 900 e 1000°C apresentam um comportamento similar entre si, com velocidade de propagação bem inferior ao sistema com substrato de 750°C.



Percebe-se que no período inicial de até 7 dias, a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas é influenciada pela cura inicial do sistema. A partir deste período ocorre a estabilização da VPOU, com pequenas variações nesta propriedade.

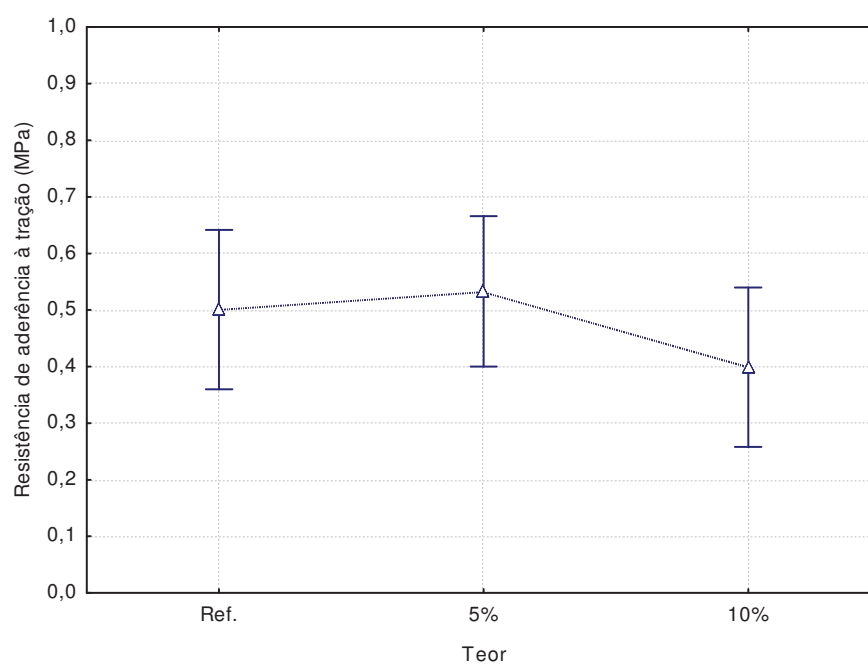
Conclui-se que a metodologia não foi capaz de determinar o acréscimo de massa específica do sistema, decorrente do processo de cura, no período de ensaio adotado.

#### 4.6.2 Resistência de aderência à tração

Os subitens apresentados na sequência encontram-se divididos em função da temperatura de sinterização dos substratos.

##### 4.6.2.1 Revestimentos aplicados nos blocos sinterizados a 750°C

Na Figura 44 e Tabela 46 encontram os valores de resistência de aderência à tração dos revestimentos aplicados sobre os blocos sinterizados a 750°C:



**Figura 44 - Resistência de aderência à tração do sistema de revestimento em função do teor de CCA no substrato a 750°C.**

**Tabela 46 - Média dos resultados da resistência de aderência do conjunto no substrato a 750°C.**

Argamassa de revestimento	Média (MPa)	Resultados	CV
Ref.	0,50		28%
5%	0,53		44%
10%	0,40		43%

Observa-se que as argamassas aplicadas sobre o substrato sinterizado a 750°C possuem valores de resistência, em quase sua totalidade, acima de 0,30 MPa, com valores médios na ordem de 0,40 a 0,53 MPa.

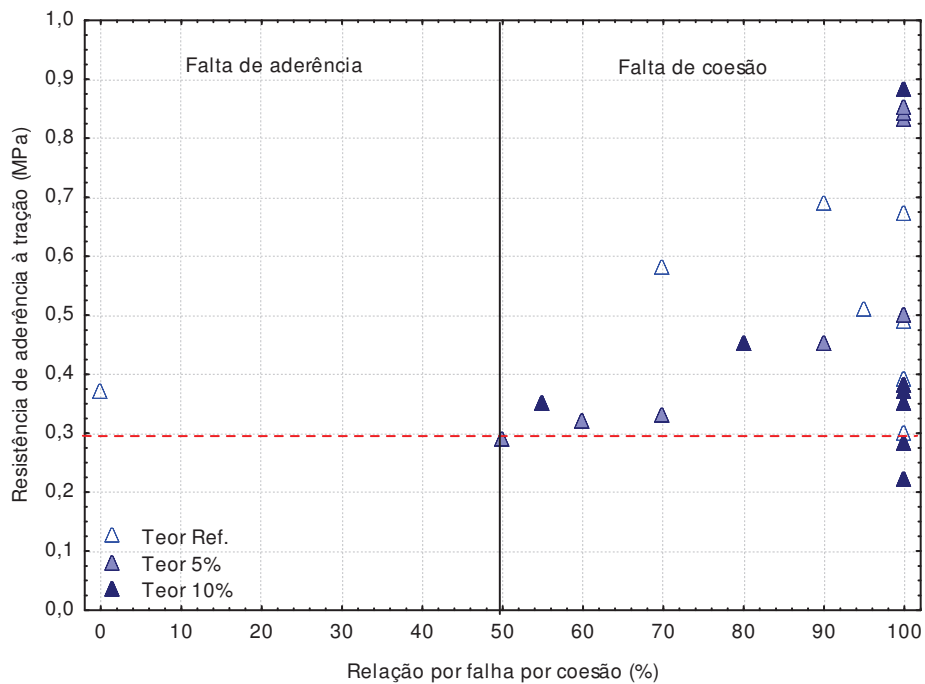
**Tabela 47 - Influência da CCA na resistência de aderência à tração nos revestimentos com substrato a 750°C.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Teor	2	0,081573	0,040786	1,103203	3,443357	0,34947	NS
Erro	24	0,89493					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

Pela análise de variância (ANOVA - Tabela 47), os resultados de resistência de aderência em função dos teores de CCA e referência, não apresentam efeito significativo.

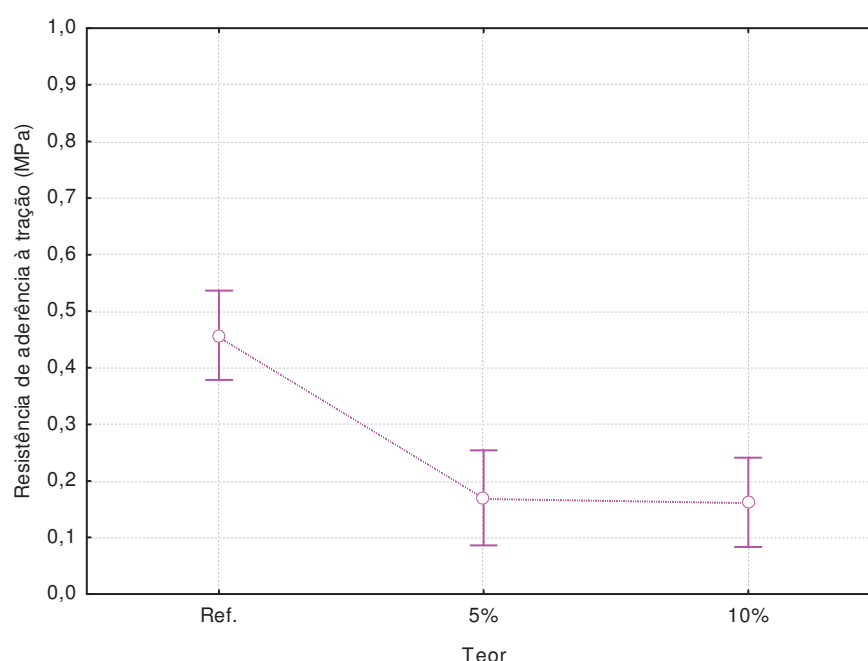
A Figura 45 demonstra os resultados obtidos no ensaio de aderência à tração conforme o teor de CCA presente no chapisco em relação às formas de ruptura. Os valores de resistência de aderência e as formas de ruptura encontram-se no Apêndice B.

**Figura 45 – Resistência de aderência à tração para os teores de substituição no substrato sinterizado a 750°C.**

No conjunto de aderências apresentadas pelo método de otimização dos quadrantes (Figura 45), é observada a dispersão entre as formas de ruptura. O tipo de ruptura mais frequente ocorre por falta de coesão. Cabe salientar que nestes valores encontram-se rupturas parciais por falta de coesão no substrato (cuja resistência à tração encontra-se na ordem de 0,74 MPa). Contudo, é possível verificar que, considerando a falta de coesão nas argamassas (revestimento e chapisco), majoritariamente, 72,7% são rupturas na argamassa de revestimento.

#### 4.6.2.2 Revestimentos aplicados nos blocos sinterizados a 900°C

Na Figura 46 e Tabela 48 encontram os valores de resistência de aderência à tração no conjunto para o bloco 900°C.



**Figura 46 - Resistência de aderência à tração do sistema de revestimento em função do teor de CCA no substrato a 900°C.**

**Tabela 48 - Média dos resultados da resistência de aderência do conjunto no substrato a 900°C.**

Argamassa de revestimento	Resultados	
	Média (MPa)	CV
Ref.	0,40	47%
5%	0,17	31%
10%	0,16	32%

Percebe-se, quanto aos resultados obtidos, que as argamassas aplicadas neste tipo de substrato dividem-se entre dois grupos de resistência de aderência, o primeiro em torno de 0,45 MPa (argamassa de referência) e o segundo, inferior a 0,20 MPa (com o emprego da

CCA no chapisco), havendo uma sensível queda na resistência de aderência comparativamente às mesmas argamassas aplicadas sobre a base anterior.

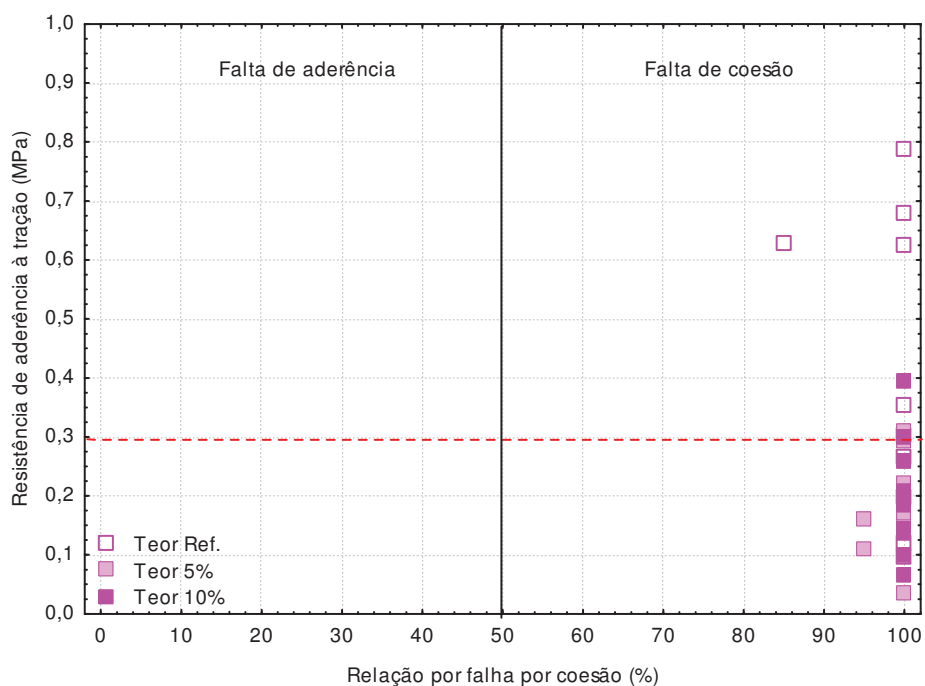
**Tabela 49 - Influência da CCA na resistência de aderência à tração nos revestimentos com substrato a 900°C.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Teor	2	0,233599	0,1168	10,87951	3,49282	0,00063	S
Erro	22	0,448314					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

Pela análise de variância (ANOVA - Tabela 49), os resultados de resistência de aderência em função dos teores de CCA e referência, observa-se o efeito significativo.

A Figura 47 demonstra os resultados obtidos no ensaio de aderência à tração conforme o teor de CCA presente no chapisco em relação às formas de ruptura. Os valores de resistência de aderência e as formas de ruptura encontram-se no Apêndice B.

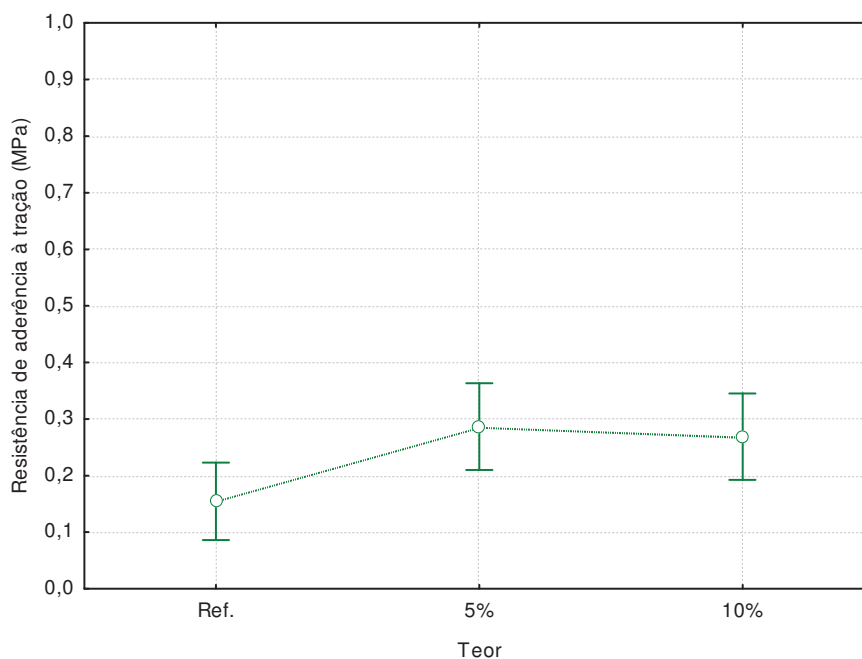


**Figura 47 – Resistência de aderência à tração para os teores de substituição no substrato sinterizado a 900°C.**

O perfil de aderências obtidas pelo método de otimização dos quadrantes (Figura 47), apresenta a concentração na forma de ruptura por falta de coesão e que 100% das rupturas ocorrem na argamassa de revestimento.

#### 4.6.2.3 Revestimentos aplicados nos blocos sinterizados a 1000°C

Na Figura 48 e Tabela 50 encontram os valores de resistência de aderência à tração no conjunto para o bloco 1000°C.



**Figura 48 - Resistência de aderência à tração do sistema de revestimento em função do teor de CCA no substrato a 1000°C.**

**Tabela 50 - Média dos resultados da resistência de aderência do conjunto no substrato a 1000°C.**

Argamassa de revestimento	Resultados	
	Média (MPa)	CV
Ref.	0,15	27%
5%	0,29	47%
10%	0,27	45%

É possível inferir que as argamassas aplicadas sobre este tipo de substrato dividem-se entre dois grupos de resistência de aderência, o primeiro em torno de 0,15 MPa (argamassa chapisco de referência) e o segundo próximo a 0,25 MPa (argamassa de chapisco com CCA), havendo um pequeno acréscimo na resistência de aderência das argamassas com CCA comparativamente ao grupo anterior (900°C).

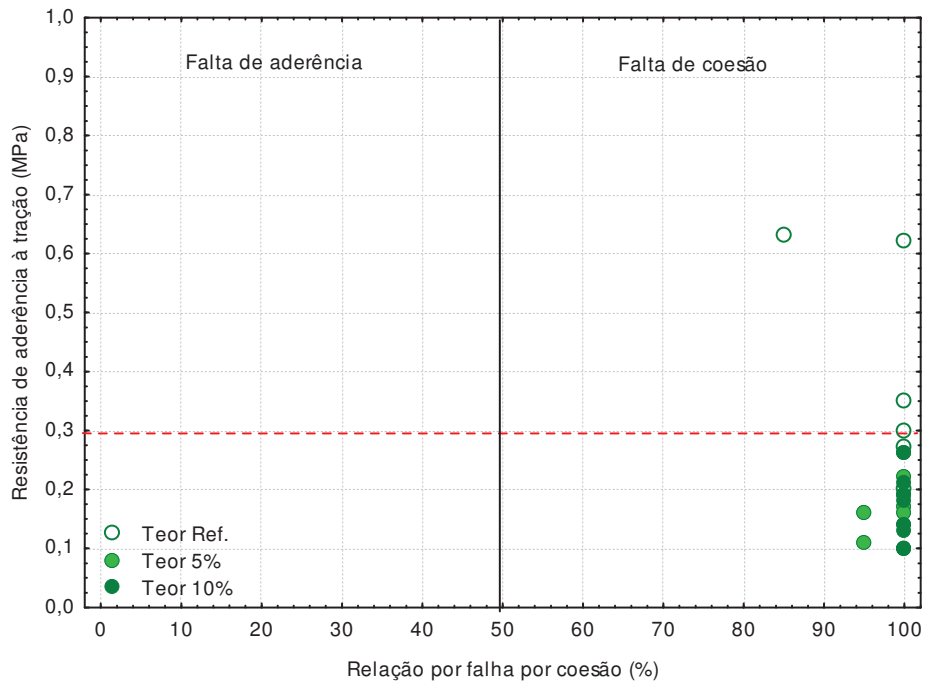
**Tabela 51- Influência da CCA na resistência de aderência à tração nos revestimentos com substrato a 1000°C.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Teor	2	0,094793	0,047396	4,32377	3,42213	0,02546	S
Erro	25	0,346914					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

Pela análise de variância (ANOVA - Tabela 51), os resultados de resistência de aderência em função dos teores de CCA e referência, observa-se o efeito significativo.

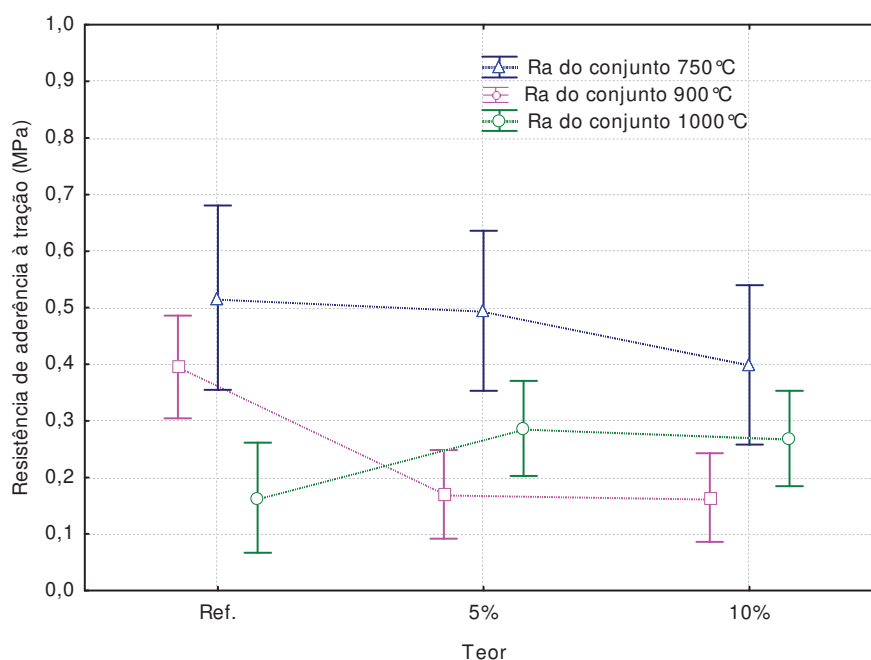
A Figura 49 demonstra os resultados obtidos no ensaio de aderência à tração conforme o teor de CCA presente no chapisco em relação às formas de ruptura. Os valores de resistência de aderência e as formas de ruptura encontram-se no Apêndice B.



**Figura 49 - Resistência de aderência à tração para os teores de substituição no substrato sinterizado a 1000°C.**

O perfil de aderências obtidas pelo método de otimização dos quadrantes (Figura 49), apresenta a concentração na forma de ruptura por falta de coesão. Nestes valores encontram-se rupturas parciais por falta de coesão no chapisco. Contudo, é possível verificar que, considerando a falta de coesão nas argamassas (revestimento e chapisco), majoritariamente 100% são rupturas na argamassa de revestimento e que para os teores de 5% e 10%, as médias de ruptura (0,29 e 0,27 MPa, respectivamente) encontram-se próximas ao valor prescrito pela NBR 13749 (ABNT, 2013).

A Figura 50 apresenta um sumário dos resultados de resistência de aderência à tração das argamassas testadas:



**Figura 50 – Comparação entre resistências de aderência à tração dos diferentes sistemas de revestimento.**

A Tabela 52 apresenta a análise de variância dos fatores de controle (temperatura de queima e teor de substituição e a interação entre estes fatores) na variável resistência de aderência à tração:

**Tabela 52 - Análise de variância (ANOVA) dos fatores independentes e da interação entre eles em relação à resistência de aderência à tração.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	Valor de P	Efeito significativo
Tipo de substrato	2	0,932138	0,466069	23,6640	0,00000	S
Teor	2	0,070078	0,035039	1,7791	0,17691	NS
Tipo de substrato*Teor	4	0,359393	0,089848	4,5619	0,00261	S
Erro	65	1,280193	0,019695			

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

Observa-se que o tipo de substrato é fator significativo para as resistências de aderência à tração nos revestimentos de argamassa.

A interação entre os fatores do tipo de substrato e teor de CCA apresentaram se significativos. Possivelmente este resultado esteja sendo influenciado pelo fator tipo de substrato, com nível de significância muito alto.

A Tabela 53 apresenta os valores obtidos nos ensaio de aderência por faixa de resistências:

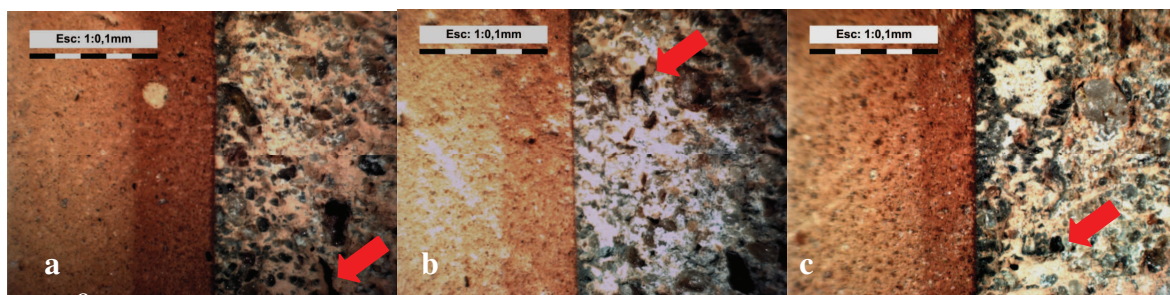
**Tabela 53 - Relação de aderências por faixa de resistência à tração.**

Temperatura (°C)	Teor (%)	Ra de 0 a 0,20 MPa (%)	Ra de 0,20 a 0,30 MPa (%)	Ra acima de 0,30 MPa (%)	Ra médio (MPa)
750	Ref.	0	0	100	0,50
	5	0	11	89	0,53
	10	0	25	75	0,40
900	Ref.	0	17	83	0,40
	5	75	25	0	0,17
	10	78	22	0	0,16
1000	Ref.	90	10	0	0,15
	5	37	0	63	0,29
	10	25	37,5	37,5	0,27

A cerâmica sinterizada a 750°C apresentou os melhores resultados de resistência de aderência à tração. Nas cerâmicas com maior absorção de água (750°C e 900°C) o emprego da CCA no chapisco não se mostra adequado. Contudo, para o bloco 1000°C (com menor absorção de água) o emprego da pozolana na argamassa de chapisco mostrou-se superior à argamassa de referência nesta propriedade.

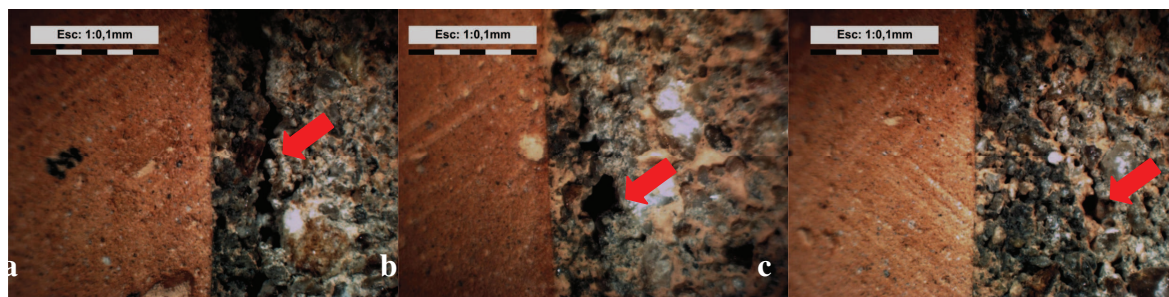
#### 4.6.3 Extensão de aderência

De uma forma geral a extensão de aderência do chapisco foi muito satisfatória. Foi detectado um número pequeno de falhas e muito pontuais. Para a argamassa de revestimento, ocorreu o mesmo comportamento de aderência, contudo com falhas um pouco mais pronunciadas. Assim, é possível identificar qualitativamente a extensão de aderência promovida por ambas as argamassas (chapisco e revestimento), sem a necessidade da identificação quantitativa. A Figura 51, Figura 52 e Figura 53 apresentam algumas das principais falhas encontradas nos blocos revestidos.

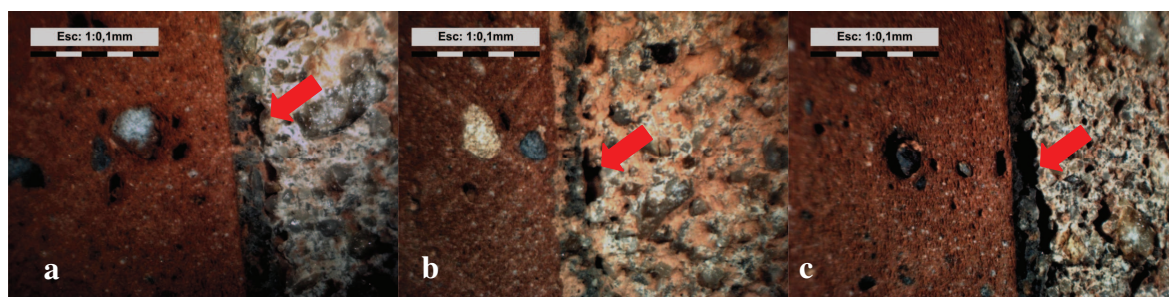


**Figura 51 – Falhas de extensão de aderência nos substratos a 750°C – a) teor referência – b) teor 5% - c) teor 10%.**





**Figura 52 – Falhas de extensão de aderência nos substratos a 900°C – a) teor referência – b) teor 5% - c) teor 10%.**



**Figura 53 – Falhas de extensão de aderência nos substratos a 1000°C – a) teor referência – b) teor 5% - c) teor 10%.**

No Apêndice E encontram-se imagens das cerâmicas revestidas na escala 1:5 mm.

#### **4.6.4 Relação entre os fatores de controle na resistência de aderência à tração do sistema de revestimento e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas**

Uma vez que fator tipo de substrato apresenta-se significativo para a variável resistência de aderência no sistema de revestimento, optou-se por estabelecer coeficientes de determinação para compreender as conexões de comportamento frente à velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e resistência de aderência à tração do sistema.

As Figura 54, Figura 55 e Figura 56 apresentam as relações de tendência estabelecidas:

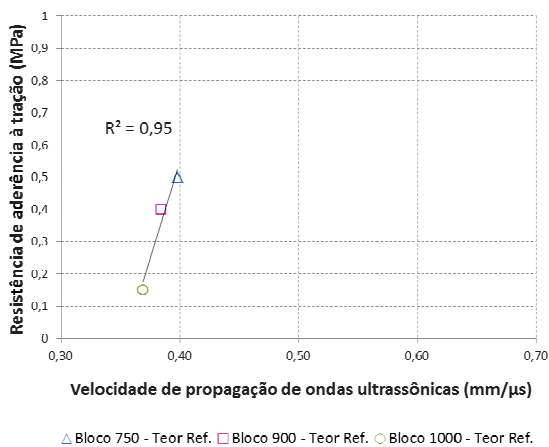


Figura 54 – Coeficiente de determinação entre aderência do sistema e VPOU (teor Ref.).

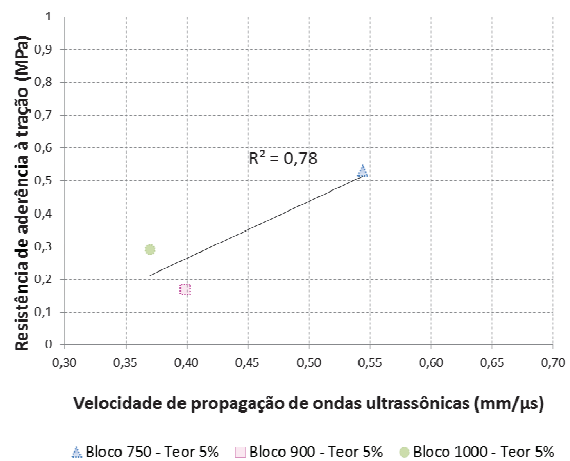


Figura 55 – Coeficiente de determinação entre aderência do sistema e VPOU (teor 5%).

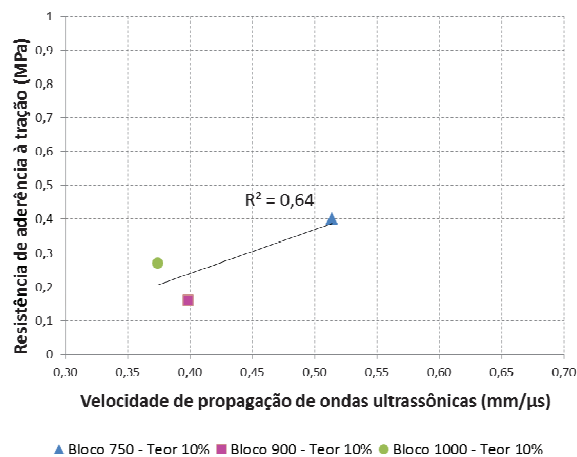


Figura 56 – Coeficiente de determinação entre aderência do sistema e VPOU (teor 10%).

Apesar dos coeficientes de relação ser relativamente baixos, é possível observar a tendência de comportamento quanto à aderência frente à velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. Neste sentido, a presença de fissuras ou vazios tendem influir nos resultados de aderência.

## 4.7 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE CHAPISCO APLICADAS NOS SUBSTRATOS

Neste item são apresentados os resultados relativos às argamassas de chapisco aplicadas sobre os substratos cerâmicos.

### 4.7.1 Absorção de água total e capilar pelo método da Rilem TC 116 PCD (1999)

Neste item são apresentados os valores de absorção capilar pelo método da Rilem.

#### 4.7.1.1 Absorção capilar no substrato sinterizado a 750°C

Nas Figura 57 e Tabela 54 encontram-se o perfil de absorção capilar dos blocos chapiscados e coeficiente de absorção capilar respectivamente:

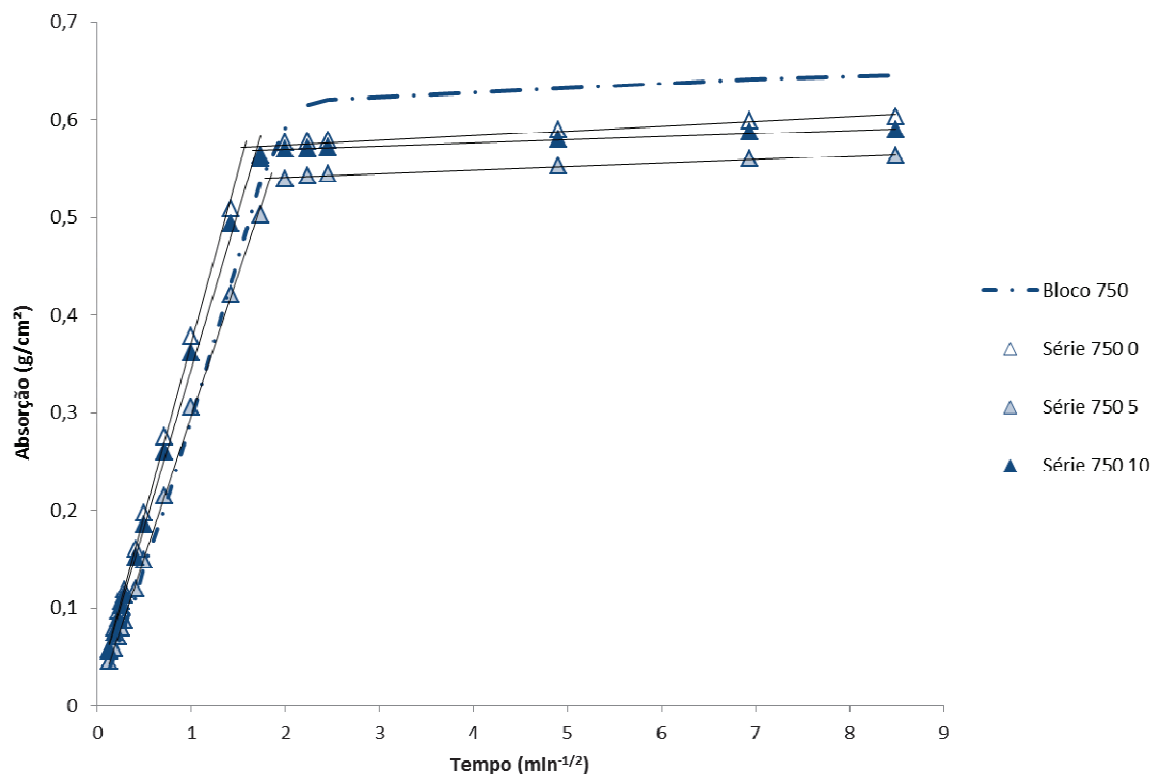


Figura 57 – Perfil de absorção capilar dos chapiscos aplicados sobre substrato sinterizado a 750°C.

Tabela 54 – Coeficientes de absorção no regime capilar pelo método da Rilem.

Condição	Absorção Média $\text{g/cm}^2 \text{min}^{-1/2}$					
	0,50 (15 min)	0,70 (30 min)	1 (60 min)	1,41 (120 min)	1,73 (180 min)	2 (240 min)
Bloco	0,144	0,200	0,294	0,431	0,536	0,593
Ref.	0,197	0,275	0,378	0,509	0,563	0,577
5%	0,149	0,215	0,306	0,421	0,503	0,540
10%	0,186	0,260	0,362	0,493	0,560	0,570

O comportamento de absorção capilar em relação ao bloco e os blocos chapiscados nos diferentes teores é bastante distinta. Para a argamassa de referência, a alteração (em vermelho) no coeficiente de absorção ocorre entre os 180 e 240 minutos, quando a absorção passa a diminuir. A argamassa com teor de 5% apresenta esta alteração entre 60 e 120 minutos, enquanto a argamassa com teor de 10%, a mudança ocorre entre 180 e 240 minutos.

As argamassas aplicadas sobre a base queimada a 750°C apresentam um valor de absorção na ordem de 0,55  $\text{g/cm}^2$ , atingido entre 1,5 e 2 horas após o contato da argamassa com a base na lâmina de água. A diferença de absorção entre as argamassas é considerada de

baixo valor, sendo que a argamassa de referência apresentou o maior valor de absorção capilar.

#### 4.7.1.2 Absorção capilar no substrato sinterizado a 900°C

Nas Figura 58 e Tabela 55 encontram-se o perfil de absorção capilar dos blocos chapiscados e coeficiente de absorção capilar respectivamente:

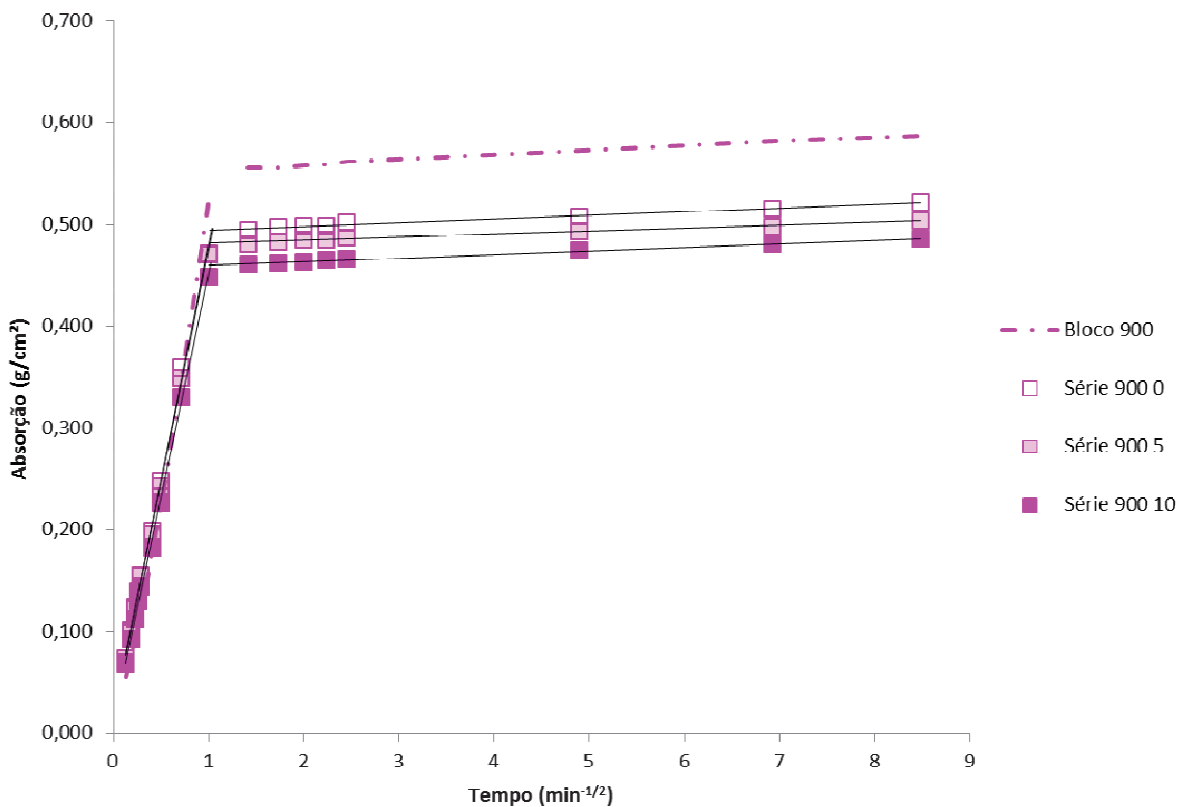


Figura 58 – Perfil de absorção capilar dos chapiscos aplicados sobre substrato sinterizado a 900°C.

Tabela 55 Alteração no regime capilar pelo método da Rilem.

Condição	Absorção Média $\text{g/cm}^2 \text{min}^{-1/2}$					
	0,50 (15 min)	0,70 (30 min)	1 (60 min)	1,41 (120 min)	1,73 (180 min)	2 (240 min)
Bloco	0,223	0,341	0,520	0,555	0,556	0,558
Ref.	0,249	0,359	0,471	0,494	0,497	0,448
5%	0,243	0,349	0,471	0,481	0,483	0,485
10%	0,227	0,330	0,448	0,461	0,462	0,463

Para o substrato sinterizado a 900°C em relação aos blocos chapiscados, o comportamento de absorção capilar é diverso. Para a argamassa de referência, a alteração no coeficiente absorção ocorre entre os 30 e 60 minutos assim como a argamassa com teor de 5%. A argamassa com teor de 10% apresenta esta alteração entre 15 e 30 minutos.

As argamassas aplicadas sobre substrato queimado 900°C apresentam um valor de absorção por capilaridade na ordem de  $0,5 \text{ g/cm}^2$ , atingido 1 hora após o início do ensaio. A

diferença de absorção entre as argamassas é menos expressiva, sendo que a argamassa de referência apresentou o maior valor.

#### 4.7.1.3 Absorção capilar no substrato sinterizado a 1000°C

Nas Figura 59 e Tabela 56 encontram-se o perfil de absorção capilar dos blocos chapiscados e coeficiente de absorção capilar respectivamente:

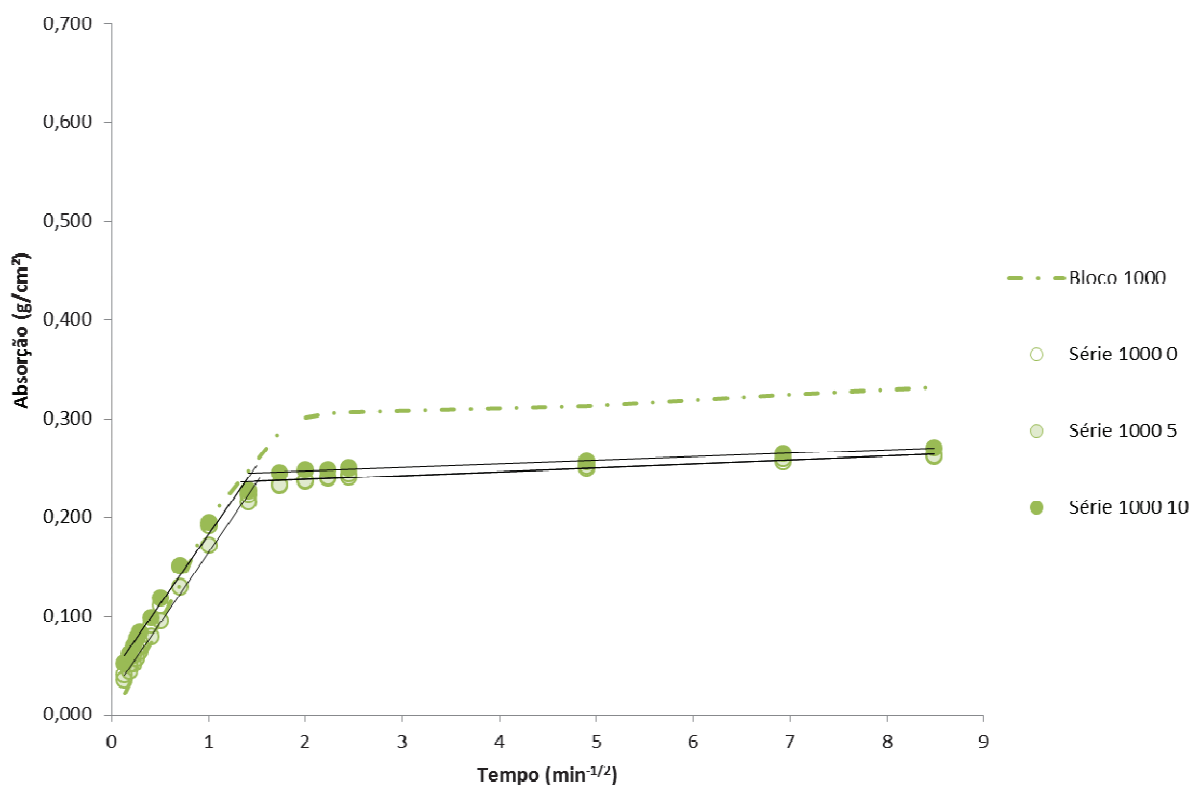


Figura 59 – Perfil de absorção capilar dos chapiscos aplicados sobre substrato sinterizado a 1000°C.

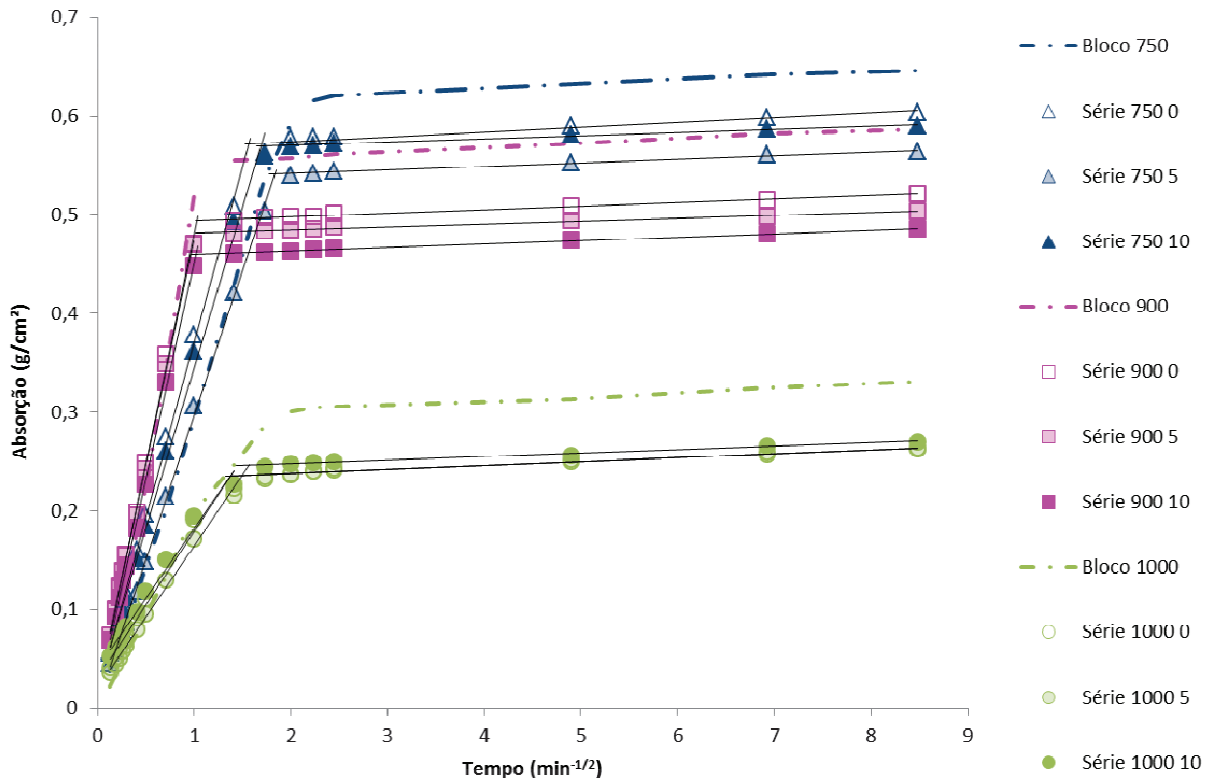
Tabela 56 - Coeficiente de absorção capilar pelo método da Rilem.

Condição	Absorção Média $\text{g/cm}^2\text{min}^{-1/2}$					
	0,50 (15 min)	0,70 (30 min)	1 (60 min)	1,41 (120 min)	1,73 (180 min)	2 (240 min)
Bloco	0,094	0,132	0,198	0,248	0,286	0,301
Ref.	0,112	0,151	0,192	0,223	0,233	0,237
5%	0,096	0,130	0,171	0,216	0,234	0,237
10%	0,118	0,151	0,195	0,227	0,245	0,248

Na condição de sinterização de 1000°C, o regime de absorção capilar apresenta a alteração no coeficiente entre 30 e 60 minutos para a argamassa de chapisco referência. Para a argamassa com teor de 5%, esta alteração ocorre entre 15 e 30 minutos, enquanto o teor de 10% na argamassa, a alteração encontra-se entre 30 e 60 minutos.

As argamassas aplicadas sobre a base queimada a 1000°C apresentam um valor de absorção por capilaridade na ordem de 0,25 g/cm<sup>3</sup>, atingido entre 30 e 60 minutos após o início do ensaio. A diferença de absorção promovida entre as argamassas pouco expressiva.

A Figura 60 apresenta a sùmula das propriedades estudadas:



**Figura 60 – Perfil de absorção capilar dos chapiscos aplicados sobre os diversos substratos.**

LEAL (2003), ao submeter blocos cerâmicos chapiscados com diversas adições, ao ensaio de absorção capilar, observou que a maioria dos chapiscos empregados (exceto os chapiscos modificados com estirenobotadieno no teor de 16% e o comum) mantiveram um perfil de absorção inferior ao do bloco, no período em que o ensaio foi realizado, conduzindo a uma camada de preparo menos absorvente. Há de ressaltar que autor não identificou a alteração no regime de absorção capilar e que os corpos de prova foram os próprios blocos e que não apresentaram restrições de absorção pelas faces laterais (isolamento), tampouco pela umidade presente na câmara de testes adotada.

O perfil de absorção capilar das argamassas de chapisco aplicadas sobre os três tipos de substrato apresentam uma tendência de absorção muito semelhante. Ao comparar-se estes perfis com o da absorção capilar do bloco percebe-se que a aplicação do chapisco mudou o coeficiente de absorção do conjunto (chapisco-substrato), tornando-o menor. Infere-se que, no momento em que ocorre a alteração do perfil de absorção, em que o coeficiente de

absorção capilar do bloco com chapisco diminui em relação ao do bloco, a absorção está ocorrendo junto ao substrato. Esta suposição explicaria que, quanto maior a diferença entre o coeficiente de absorção do bloco e do bloco chapiscado, maior seria a dificuldade da água penetrar no bloco em função dos poros colmatados pela argamassa de chapisco.

Na Tabela 57 pode-se visualizar simultaneamente o comportamento das argamassas utilizadas, quando aplicadas sobre as bases:

**Tabela 57 – Coeficiente de absorção capilar.**

Temperatura (°C)	Condição	Absorção capilar média	
		Tempo de saturação (min <sup>-1/2</sup> )	Coeficiente de absorção (g/cm <sup>2</sup> )
750	Bloco	1,99	0,616
	Ref.	1,30	0,573
	5%	1,81	0,540
	10%	1,66	0,568
900	Bloco	1,00	0,554
	Ref.	0,99	0,494
	5%	1,01	0,464
	10%	1,00	0,459
1000	Bloco	1,55	0,299
	Ref.	1,32	0,236
	5%	1,50	0,235
	10%	1,47	0,246

Considerando o coeficiente de absorção de água até o ponto de saturação capilar, pode-se observar, em função dos poros acessíveis: as argamassas de chapisco com teor de 5% de CCA, foram as que apresentaram maior selamento dos poros, impedindo a maior penetração de água capilar em relação às outras argamassas, nos blocos sinterizados a 750 e 900°C; No bloco sinterizado a 1000°C, a argamassa com teor de 10% foi a que apresentou comportamento de selamento superior, junto com a argamassa de referência, com valores muito próximos; As argamassas com teor de 5% aplicadas nos blocos 750 e 1000°C apresentaram maior tempo até a saturação, porém, as argamassas aplicadas no substrato de 900° o tempo de saturação é muito semelhante.

A Tabela 58 apresenta os resultados da taxa de absorção capilar dos substratos chapiscados na fase capilar:

**Tabela 58 – Taxa de absorção capilar dos substratos chapiscados.**

Temperatura (°C)	Teor (%)	Taxa de absorção capilar (g/cm <sup>2</sup> min <sup>-1/2</sup> )	CV
750	Ref.	0,437	14%
	5	0,292	1%
	10	0,330	4%
900	Ref.	0,482	11%
	5	0,455	2%
	10	0,448	7%
1000	Ref.	0,164	18%
	5	0,144	5%
	10	0,141	13%

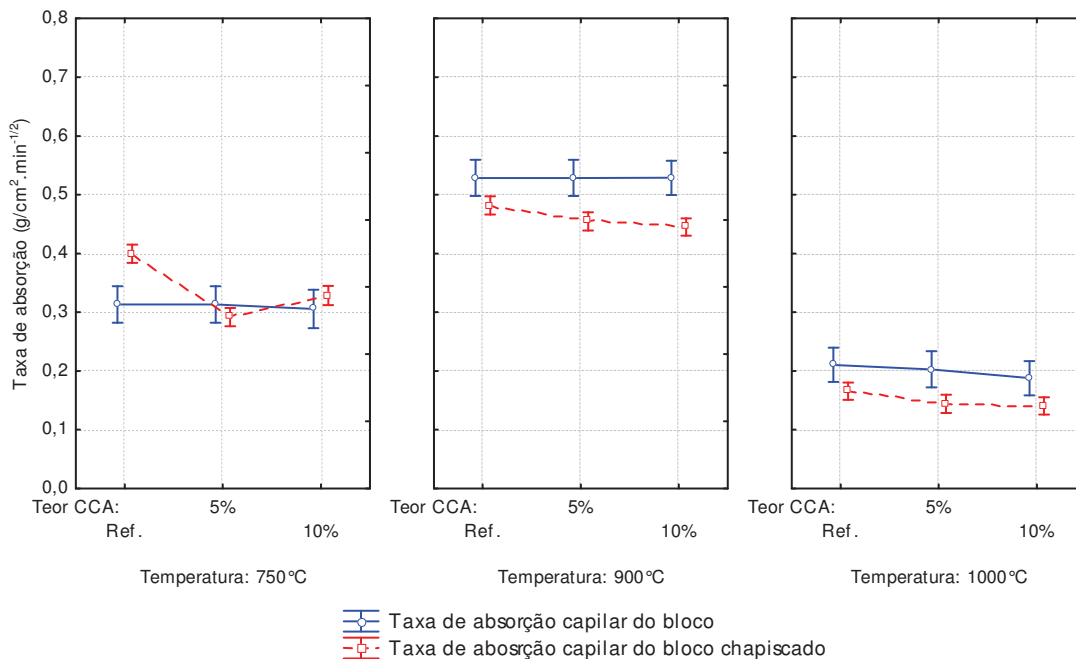
A Tabela 59 apresenta, a análise de variância entre os fatores tipo de substrato e teor de CCA na taxa de absorção capilar a partir dos diferentes substratos revestidos com chapisco:

**Tabela 59 - Análise de variância (ANOVA) entre os fatores tipo de substrato e teor de CCA quanto à taxa de absorção capilar.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Tipo de substrato e Teor	8	0,48791	0,06098	54,8299	2,510158	4,54E-11	<b>S</b>
Erro	26	0,50794					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

A Figura 61 apresenta as relações entre taxas de absorção de capilar dos blocos e blocos chapiscados em função do tipo de substrato e teor de CCA na taxa de absorção capilar:

**Figura 61 - Relação taxa de absorção capilar dos blocos e blocos chapiscados.**



Observa-se para os blocos sinterizados a 900 e 1000°C apresentam um comportamento similar quanto à taxa de absorção capilar do bloco chapiscado (inferior) em relação à taxa de absorção capilar do bloco. O bloco 750°C apresenta uma comportamento peculiar, em que a taxa de absorção capilar dos blocos chapiscados é superior para os teores referência e 10% em relação à taxa de absorção dos blocos.

A Tabela 60 e Tabela 61 apresentam a porosidade total obtida nos diferentes substratos revestidos com chapisco, a análise de variância entre os fatores tipo de substrato e teor de CCA:

**Tabela 60 - Porosidade total dos substratos chapiscados.**

Temperatura (°C)	Teor (%)	Porosidade total (%)	CV
750	Ref.	24,612	6%
	5	23,133	3%
	10	23,723	2%
900	Ref.	20,079	1%
	5	20,140	3%
	10	19,250	4%
1000	Ref.	10,378	2%
	5	11,120	1%
	10	11,037	7%

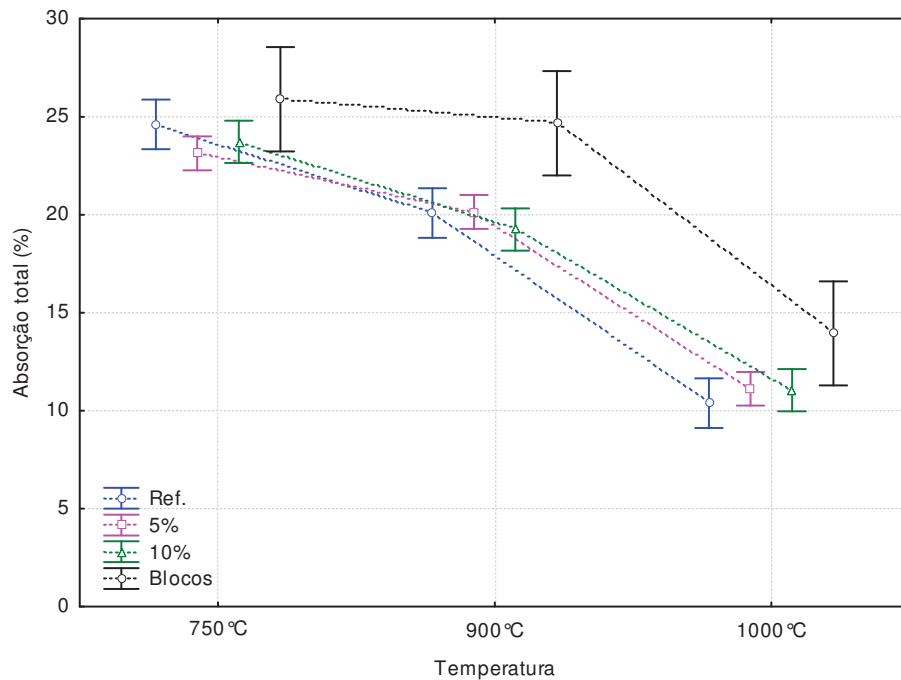
**Tabela 61 - Análise de variância (ANOVA) entre os fatores tipo de substrato e teor de CCA quanto à porosidade total.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Tipo de substrato e Teor	8	800,8922	100,1115	171,1375	2,510158	2,22E-15	S
Erro	26	811,42184					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

#### 4.7.1.4 Relação entre tipos de substratos e teores de substituição

A Figura 62 apresenta a relação entre os diferentes substratos e os teores de CCA quanto à absorção total:



**Figura 62- Relação de absorção total nos diferentes substratos chapiscados e do bloco.**

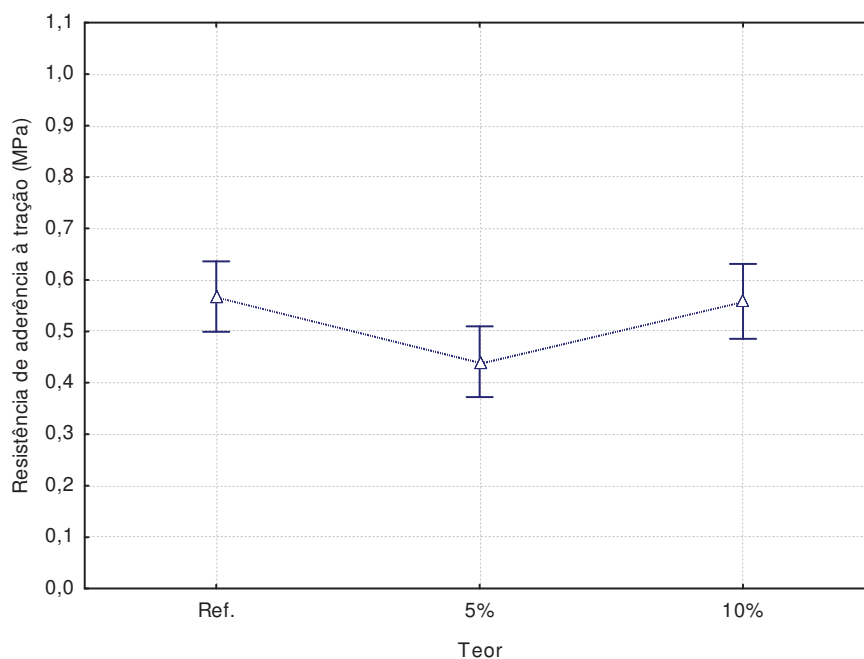
Na Figura 62 observa-se a alteração do perfil de absorção de água com o uso do chapisco, que proporciona diferença de comportamento, diminuindo a absorção de água em todos os casos. Observa-se, igualmente, a grande influência das características do substrato, que proporciona uma diferença de mais de 100% na absorção de água.

#### 4.7.2 Resistência de aderência à tração nas argamassas de chapisco

Os subitens apresentados na sequência encontram-se divididos em função da temperatura de sinterização dos substratos.

##### 4.7.2.1 Aderência nos blocos sinterizados a 750°C

Nas Figura 63 e Tabela 62 encontram-se os valores de resistência de aderência à tração para os teores de CCA aplicados no substrato sinterizado a 750°C:



**Figura 63 – Resistência de aderência à tração dos chapiscos no bloco 750°C.**

**Tabela 62 - Médio das resistências de aderência à tração dos chapiscos no bloco a 750°C.**

Argamassa de chapisco	Média (MPa)	Resultados	CV
Ref.	0,57		18%
5%	0,43		11%
10%	0,56		21%

Os chapiscos aplicados sobre este tipo de substrato possuem valores médios de resistência de aderência na ordem de 0,40 a 0,60 MPa, similares aos encontrados nos ensaios de arrancamento do conjunto.

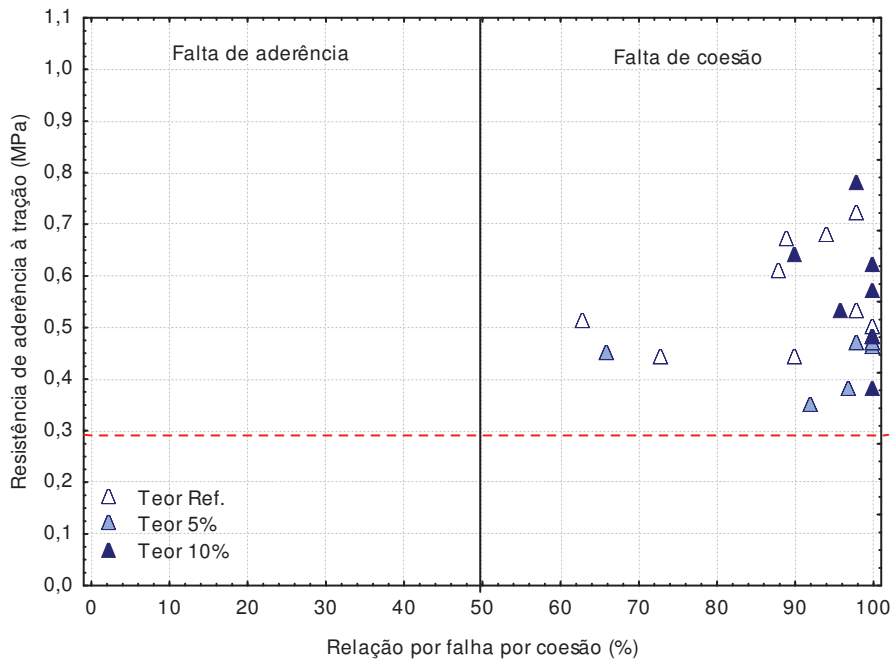
A Tabela 63 apresenta a análise de variância (ANOVA) entre o fator teor e resistência de aderência à tração nos blocos sinterizados a 750°C:

**Tabela 63 - Análise de variância (ANOVA) do fator teor na resistência de aderência à tração dos chapiscos nos blocos sinterizados a 750°C.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Teor	2	0,088746	0,044373	4,467449	3,422132	0,02295	S
Erro	25	0,317194					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

A Figura 64 demonstra os resultados obtidos no ensaio de aderência à tração conforme o teor de CCA presente no chapisco em relação às formas de ruptura. Os valores de resistência de aderência e as formas de ruptura encontram-se no Apêndice A.

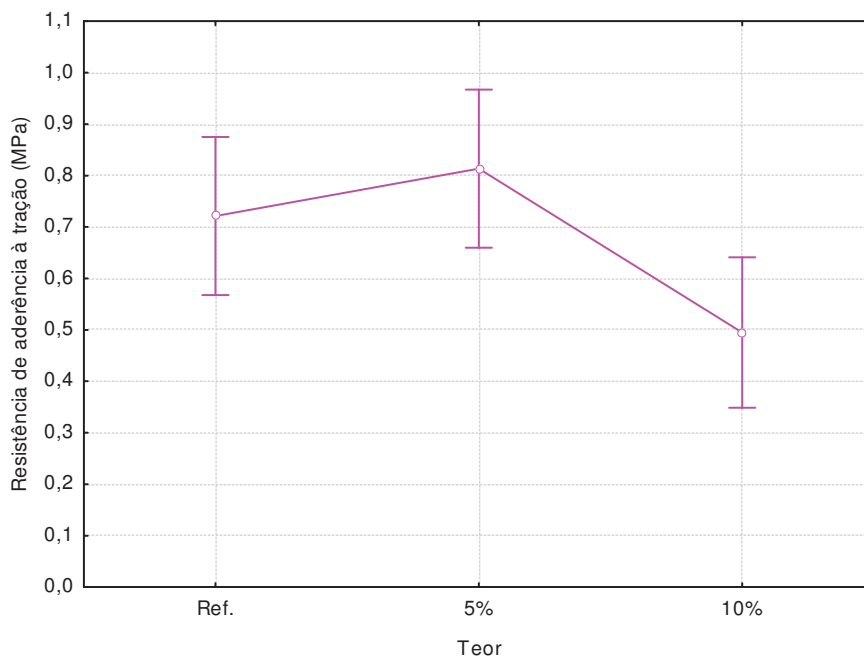


**Figura 64 - Resistência de aderência à tração dos chapiscos para os teores de substituição no substrato sinterizado a 750°C.**

Dos blocos sinterizados a 750°, nenhuma das rupturas apresentou tensão superior à resistência à tração obtida junto ao substrato.

4.7.2.2 Aderência nos blocos sinterizados a 900°C

Nas Figura 65 e Tabela 64 encontram-se os valores de resistência de aderência à tração para os diferentes teores aplicados no substrato sinterizado a 900°C:



**Figura 65 - Resistência de aderência à tração dos chapiscos no bloco 900°C.**

**Tabela 64 - Média das resistências de aderência à tração dos chapiscos no bloco a 900°C.**

Argamassa de chapisco	Média (MPa)	Resultados	CV
Ref.	0,64		33%
5%	0,77		13%
10%	0,50		29%

Os chapiscos aplicados sobre este tipo de substrato possuem valores médios de resistência de aderência na ordem de 0,4 a 1,0 MPa, muito superiores aos encontrados nos ensaios de arrancamento do conjunto. O resultado mais inferior foi encontrado no traço com teor de 10% de CCA.

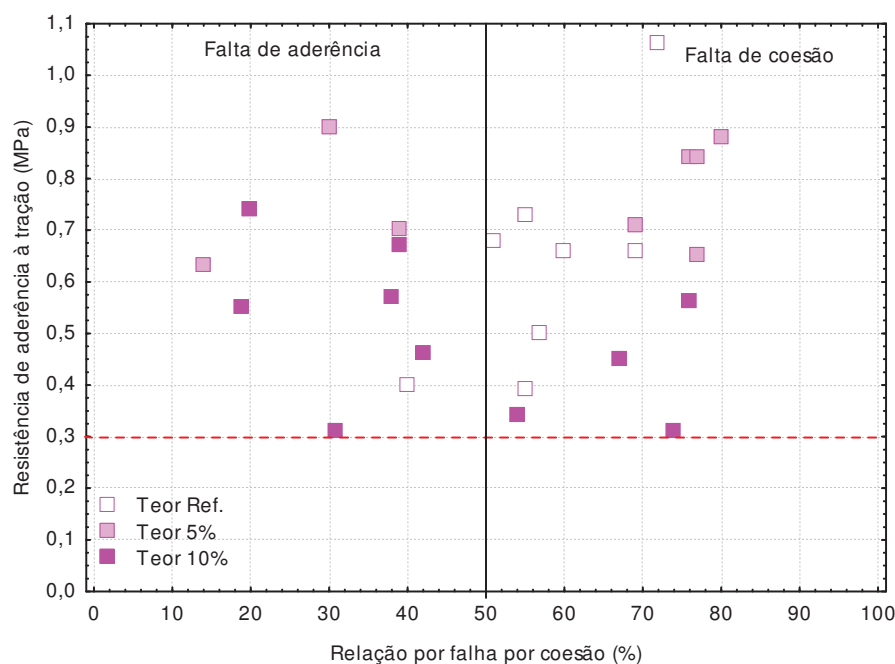
A Tabela 65 apresenta a análise de variância (ANOVA) entre o fator teor e resistência de aderência à tração nos blocos sinterizados a 900°C:

**Tabela 65 - Análise de variância (ANOVA) do fator teor na resistência de aderência à tração dos chapiscos nos blocos sinterizados a 900°C.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Teor	2	0,515505	0,257752	5,130264	3,38519	0,01358	S
Erro	27	1,771544					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

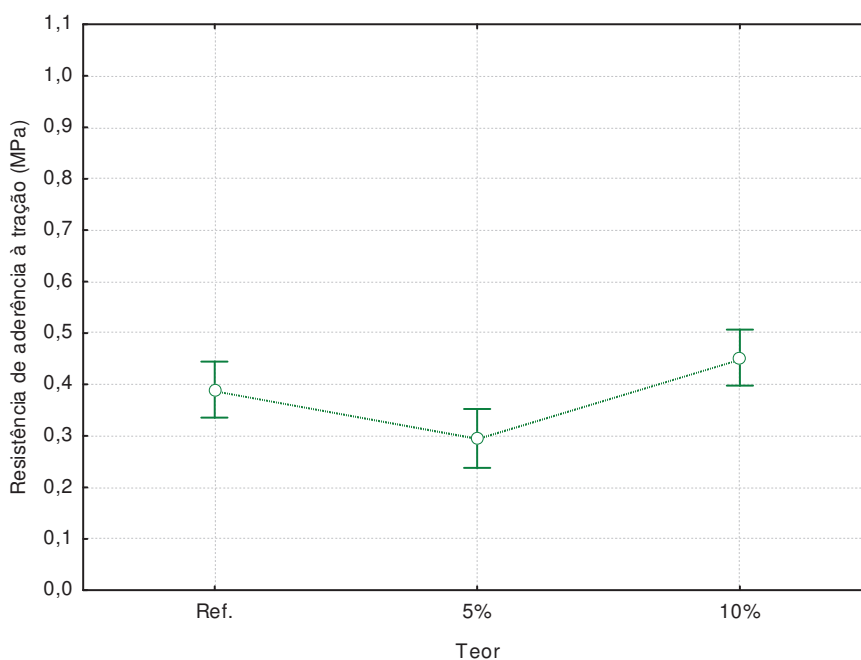
A Figura 66 demonstra os resultados obtidos no ensaio de aderência à tração conforme o teor de CCA presente no chapisco em relação às formas de ruptura. Os valores de resistência de aderência e as formas de ruptura encontram-se no Apêndice A.

**Figura 66 - Resistência de aderência à tração dos chapiscos para os teores de substituição no substrato sinterizado a 900°C.**

Dos blocos sinterizados a 900°C, cabe ressaltar, que representaram tipo de ruptura superior a 50% no substrato, no teor 0% em 25% das amostras

#### 4.7.2.3 Aderência nos blocos sinterizados a 1000°C

Nas Figura 67 e Tabela 66 encontram-se os valores de resistência de aderência à tração para os diferentes teores aplicados no substrato sinterizado a 1000°C:



**Figura 67 – Resistência de aderência à tração dos chapiscos no bloco 1000°C.**

**Tabela 66 - Média das resistências de aderência à tração dos chapiscos no bloco a 1000°C.**

Argamassa de chapisco	Resultados	
	Média (MPa)	CV
Ref.	0,39	15%
5%	0,30	31%
10%	0,45	20%

Nos blocos sinterizados a 1000°C, os chapiscos aplicados sobre este tipo de substrato possuem valores de resistência de aderência na ordem de 0,25 a 0,50 MPa, superiores aos encontrados nos ensaios de arrancamento do conjunto.

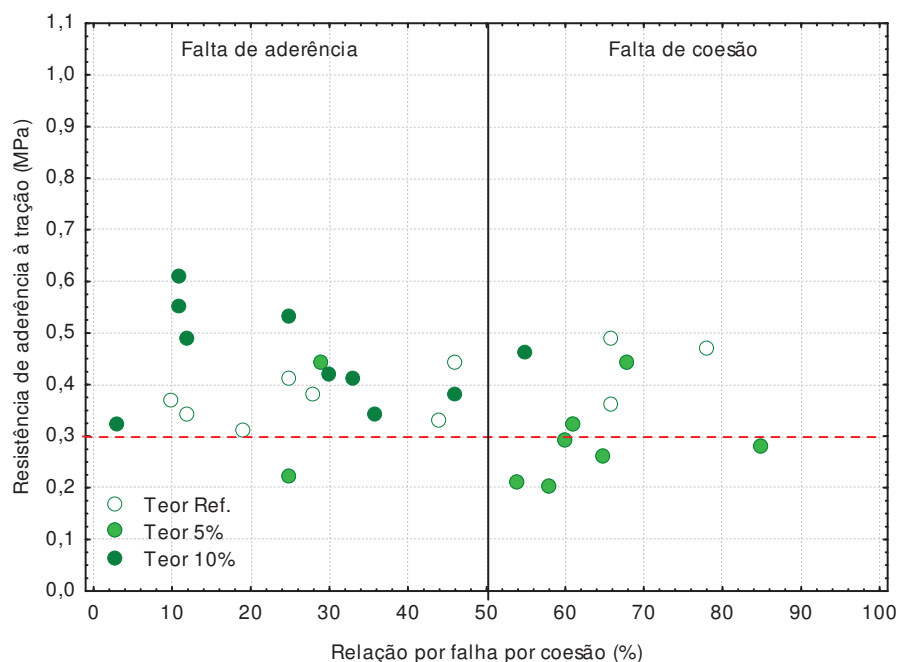
A Tabela 67 apresenta a análise de variância (ANOVA) entre o fator teor e resistência de aderência à tração nos blocos sinterizados a 900°C:

**Tabela 67 - Análise de variância (ANOVA) do fator teor na resistência de aderência à tração dos chapiscos nos blocos sinterizados a 1000°C.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Teor	2	0,118094	0,059047	8,435328	3,369016	0,00150	S
Erro	28	0,300092					

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

A Figura 68 demonstra os resultados obtidos no ensaio de aderência à tração conforme o teor de CCA presente no chapisco em relação às formas de ruptura. Os valores de resistência de aderência e as formas de ruptura encontram-se no Apêndice A.

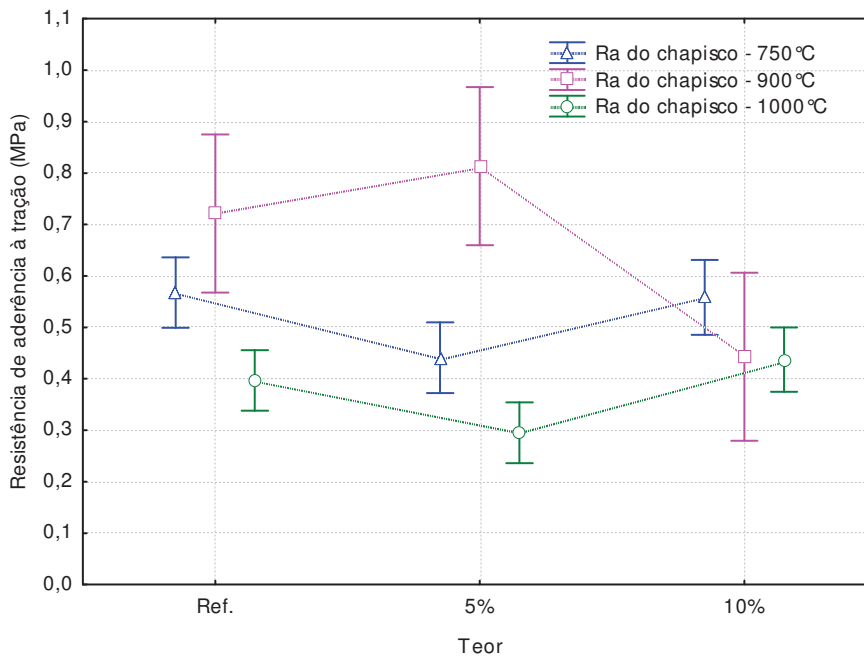


**Figura 68 - Resistência de aderência à tração dos chapiscos para os teores de substituição no substrato sinterizado a 1000°C.**

A Tabela 68 e a Figura 69 apresentam a sùmula das resistências de aderência dos chapiscos:

**Tabela 68 – Faixa de resistências de aderência à tração dos chapiscos.**

Temperatura (°C)	Teor (%)	Ra de 0 a 0,20 MPa (%)	Ra de 0,20 a 0,30 MPa (%)	Ra acima de 0,30 MPa (%)	Ra médio (MPa)
750	Ref.	0	0	100	0,57
	5	0	0	100	0,43
	10	0	0	100	0,56
900	Ref.	0	0	100	0,64
	5	0	0	100	0,77
	10	0	0	100	0,50
1000	Ref.	0	0	100	0,39
	5	0	67	33	0,30
	10	0	0	100	0,45



**Figura 69 – Resumo dos diferentes perfis de aderência dos chapiscos.**

A Tabela 69 apresenta a análise de variância dos fatores de controle (tipo de substrato e teor de substituição e a interação entre os fatores) na variável resistência de aderência à tração:

**Tabela 69 - Análise de variância fatorial da influência da temperatura de sinterização e teor de CCA nos blocos chapiscados.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	Valor de P	Efeito significativo
Tipo de substrato	2	1,25677	0,62838	27,903	0,00000	S
Teor	2	0,05025	0,2513	1,116	0,33312	NS
Tipo de substrato*Teor	4	0,66752	0,16688	7,410	0,00004	S
Erro	74	1,66649	0,02252			

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

Observa-se que o tipo de substrato é fator significativo para as resistências de aderência à tração nas argamassas de chapisco. Esta tendência já havia sido observada na mesma propriedade das argamassas de revestimento.

A interação entre os fatores do tipo de substrato e teor de CCA apresentaram se significativos. Possivelmente este resultado esteja sendo influenciado pelo fator tipo de substrato, com nível de significância muito alto.



### 4.7.3 Relação entre os fatores de controle na resistência de aderência à tração das argamassas de chapisco

Visto que o fator tipo de substrato apresenta-se significativo para a variável resistência de aderência, estabeleceu-se relações de tendência para compreender as conexões de comportamento frente ao indicador de porosidade pela absorção capilar e os valores de resistência de aderência à tração dos chapiscos.

As Figura 70, Figura 71 e Figura 72 apresentam a relação de tendência linear do comportamento das resistências de aderência à tração dos blocos chapiscados frente ao coeficiente de absorção capilar das cerâmicas:

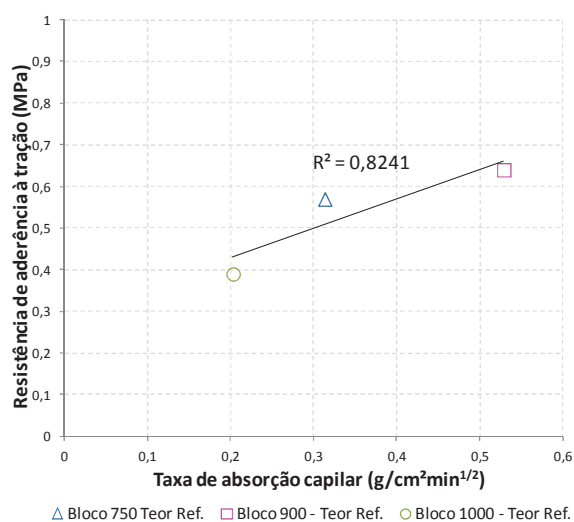


Figura 70 – Coeficiente de determinação entre aderência e absorção capilar (teor Ref.) nos blocos chapiscados.

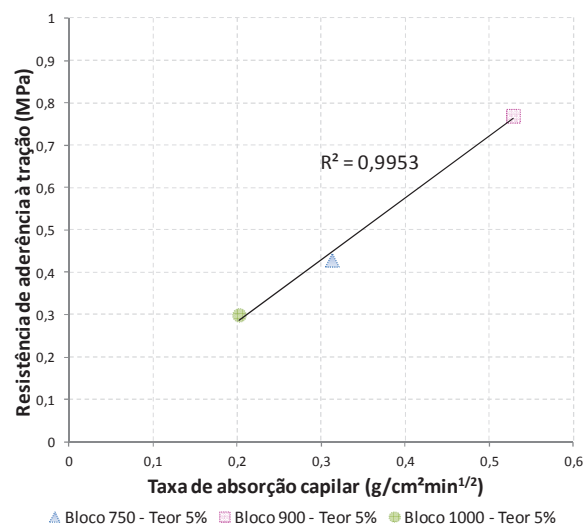


Figura 71 - Coeficiente de determinação entre aderência e absorção capilar (teor 5%) nos blocos chapiscados.

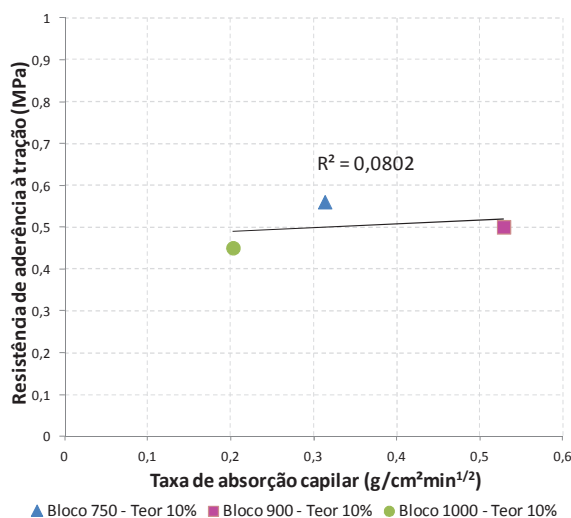
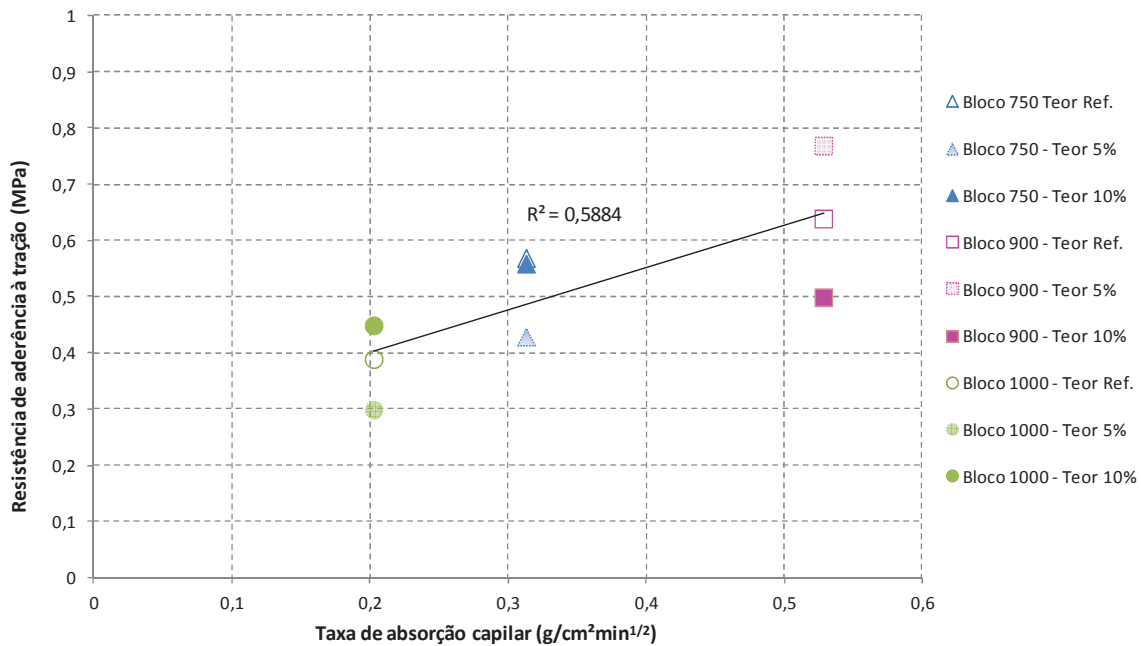


Figura 72 Coeficiente de determinação entre aderência e absorção capilar (teor 10%) nos blocos chapiscados.

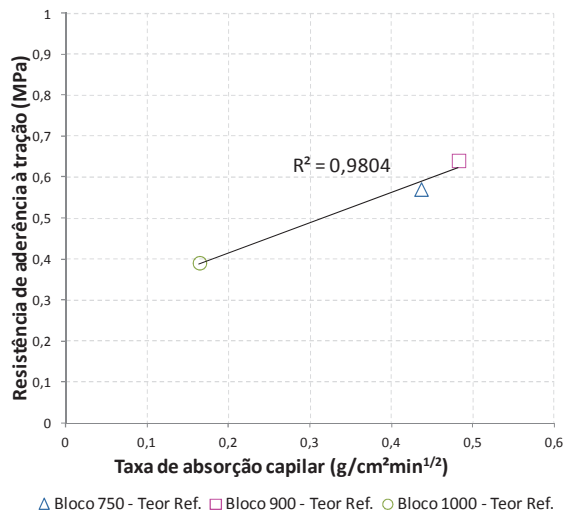
A Figura 73 apresenta o coeficiente de determinação entre resistência de aderência à tração dos blocos chapiscados e o coeficiente de absorção capilar dos blocos estudados:



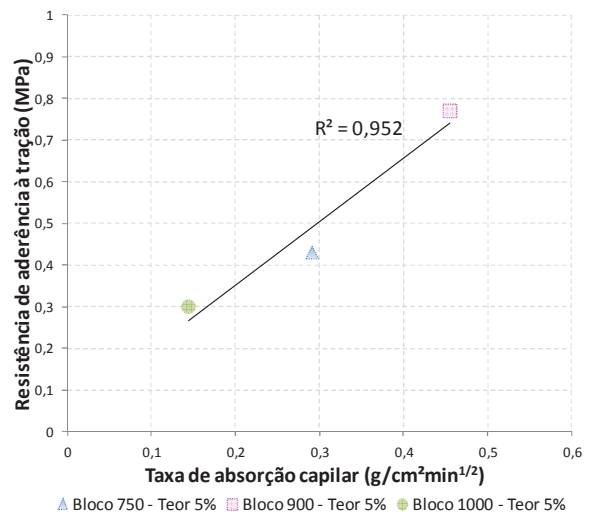
**Figura 73 - Coeficiente de determinação entre a taxa de absorção capilar das cerâmicas e a resistência de aderência nas cerâmicas chapiscadas.**

Apesar do coeficiente de relação ser relativamente baixo, é possível observar a tendência de comportamento quanto à aderência frente às características de absorção capilar dos blocos ensaiados.

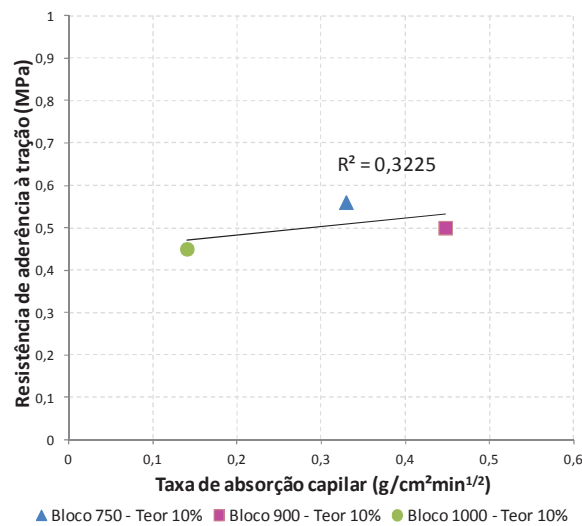
As Figura 74, Figura 75 e Figura 76 apresentam a relação de tendência linear do comportamento das resistências de aderência à tração dos chapiscos frente à absorção capilar das cerâmicas chapiscadas:



**Figura 74 - Coeficiente de determinação entre aderência da cerâmica chapiscada e absorção capilar das cerâmicas (teor Ref.).**

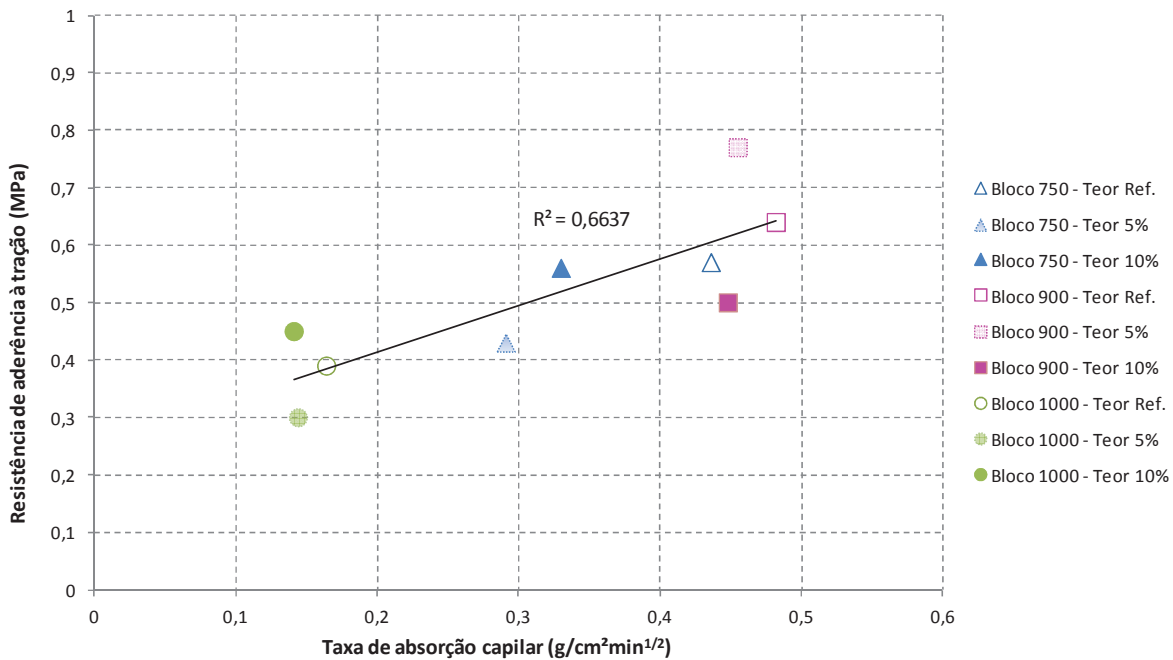


**Figura 75 - Coeficiente de determinação entre aderência da cerâmica chapiscada e absorção capilar das cerâmicas (teor 5%).**



**Figura 76 - Coeficiente de determinação entre aderência da cerâmica chapiscada e absorção capilar das cerâmicas (teor 10%).**

A Figura 77 apresenta coeficiente de determinação do comportamento das argamassas de chapisco na entre resistência de aderência à tração e a taxa de absorção capilar das cerâmicas chapiscadas:



**Figura 77 - Coeficiente de determinação de comportamento entre as cerâmicas revestidas com chapisco em função da resistência de aderência e da absorção capilar dos blocos.**

O coeficiente de determinação entre a aderência e a taxa de absorção capilar apresenta uma tendência de comportamento em que, conforme mais elevada a taxa de absorção, melhor será a aderência da argamassa.

Este comportamento é explicado por Murray (1983) *apud* Paes (2004), que observou a relação entre a taxa de absorção capilar dos blocos cerâmicos e a resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa neles assentados. Blocos que possuíam os maiores valores médios da taxa de absorção capilar apresentaram também as maiores resistências de aderência. O mesmo comportamento é apontado por Honório; Carasek (2010), ao afirmarem que quanto maior a absorção inicial de água da base, maior a resistência superficial da argamassa de revestimento. Segundo os autores, a influência do substrato nas propriedades de aderência, se deve à absorção da água argamassa promovida pelo substrato que altera o transporte de água ao longo da camada de argamassa fresca levando à alteração das propriedades da argamassa no estado endurecido.

Pagnussat (2013) apresenta a mesma relação entre absorção de capilar nos blocos ensaiados e resistência de aderência à tração. Contudo, o autor observou uma relação direta entre a elevação da temperatura de sinterização, taxa absorção capilar e resistência de aderência à tração das argamassas estudadas.

Quanto à rugosidade das faces, observa-se que o efeito da absorção capilar das cerâmicas superou em muito o efeito da rugosidade. As diferenças encontradas entre a rugosidade das cerâmicas em função da temperatura de sinterização, não garantem resistência de aderência superiores. Dessa forma, qualquer indicativo de rugosidade nas cerâmicas estudadas não é significativo nesta situação. O mesmo fato foi descrito por Pagnussat (2013), que afirma que uma boa extensão de contato, embora fundamental, não é por si só suficiente para garantir uma boa ancoragem da argamassa.

No Apêndice C encontram-se as tendências de comportamento nas relações estabelecidas entre rugosidade do substrato e resistência de aderência à tração dos chapiscos.

#### 4.8 RELAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA

A Tabela 70 e Tabela 71 apresentam a súmula dos resultados de aderência à tração na argamassa de chapisco e de revestimento em função da temperatura de sinterização e teor de CCA:

**Tabela 70 - Resistências de aderência médias por temperatura de queima dos substratos nas argamassas de chapisco e revestimento.**

Temperatura (°C)	Teor (%)	Ra médio do chapisco (MPa)	Varição (%)	Ra médio do sistema de revestimento (MPa)	Varição (%)	Varição entre Ra (%)
750	Ref.	0,57	0	0,50	0	- 12
	5	0,43	-25	0,53	6	23
	10	0,56	-2	0,40	-20	- 29
900	Ref.	0,64	0	0,40	0	- 37
	5	0,77	20	0,17	-57	- 78
	10	0,50	- 22	0,16	-60	- 68
1000	Ref.	0,39	0	0,15	0	- 61
	5	0,30	-23	0,29	93	- 3
	10	0,45	15	0,27	80	- 40

A variação entre as resistências de aderência à tração nas argamassas de chapisco em função da temperatura de sinterização encontra-se uma diminuição de 25% e aumento de 20%. Para o sistema de revestimento esta variação encontra-se entre a diminuição de 60% e o aumento de 93%.

No contexto geral, observa-se que para os blocos sinterizados a 750°C, os valores permanecem constantes e muito próximos. Para os blocos sinterizados a 900°C, a resistência de aderência é muito superior à da argamassa de revestimento, enquanto para os blocos sinterizados a 1000°C, os valores de maior de resistência de aderência ao chapisco são observados apenas para os teores de referência e 10%. O valor de resistência de aderência para o chapisco e a argamassa de revestimento com teor de 5% são os mesmos.

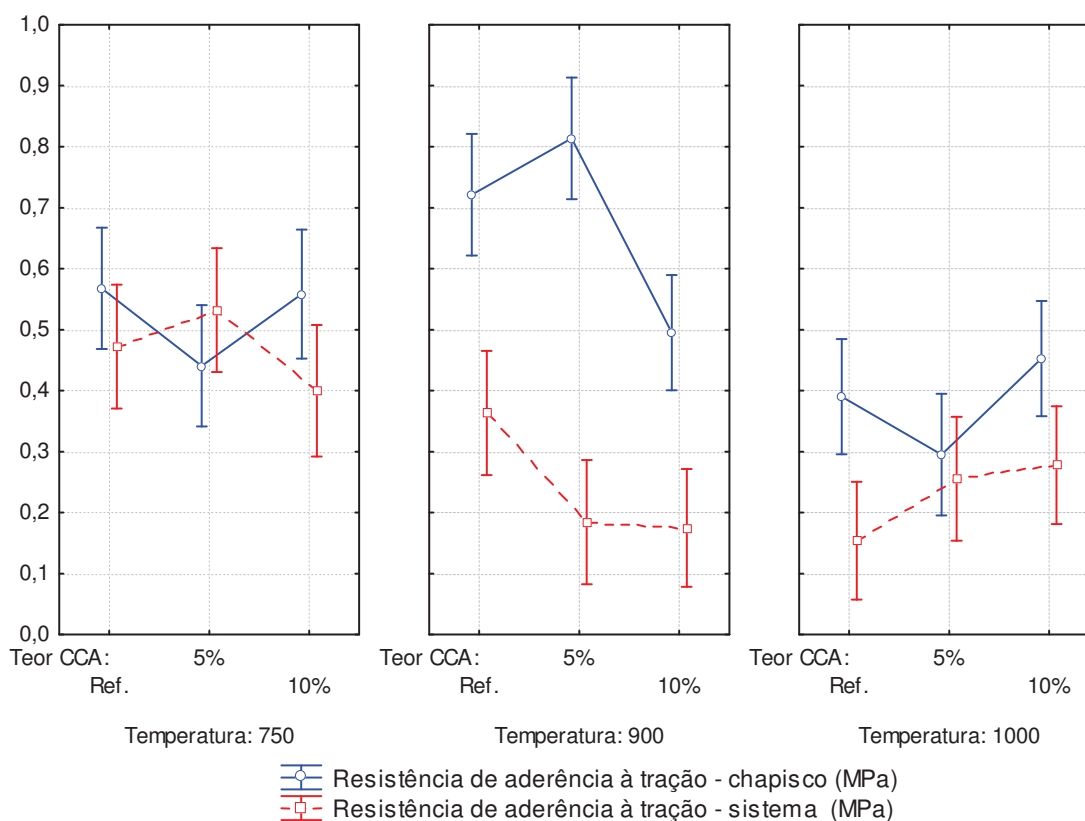
**Tabela 71 - Resistências de aderência médias por teor de CCA das argamassas de chapisco e revestimento.**

Teor (%)	Temperatura (°C)	Ra médio chapisco (%)	Variação (%)	Ra médio do sistema de revestimento (MPa)	Variação (%)	Variação entre Ra (%)
Ref.	750	0,57	0	0,50	0	- 12
	900	0,64	12	0,40	- 20	- 37
	1000	0,39	-31	0,15	- 70	- 61
5%	750	0,43	0	0,53	0	23
	900	0,77	79	0,17	- 68	- 78
	1000	0,30	-30	0,29	-45	- 3
10%	750	0,56	0	0,40	0	- 29
	900	0,56	-11	0,16	-60	- 68
	1000	0,45	-20	0,27	-32	- 40

Quanto à variação entre as resistências de aderência à tração nas argamassas de chapisco em função do teor de CCA verifica-se diminuição de 30% e aumento de 79% entre as amostras. Para o sistema de revestimento esta variação encontra-se perda da propriedade na ordem de 70%

De uma forma geral, os resultados entre resistência de aderência à tração do sistema de revestimento e da argamassa de chapisco, em função do teor de substituição, apresentaram queda entre 3 e 78% na propriedade. A exceção encontra-se para o substrato de 750°C no teor de 5%, em que se observa o incremento de 23% na resistência de aderência à tração entre a argamassa de chapisco e o sistema de revestimento.

A Figura 78 apresenta o comportamento das resistências de aderência à tração das argamassas de chapisco e sistema de revestimento em função dos fatores de controle teor de CCA e temperatura de sinterização:



**Figura 78 - Resistências de aderência à tração do sistema da chapisco em função dos fatores de controle temperatura e teor de CCA.**

Foi empregada análise de variância fatorial (ANOVA) a fim de se verificar a influência dos fatores de controle e interação dos mesmos, nas variáveis de resposta resistência de aderência das argamassas de chapisco e no sistema de revestimento. A Tabela 72 apresenta os resultados obtidos:

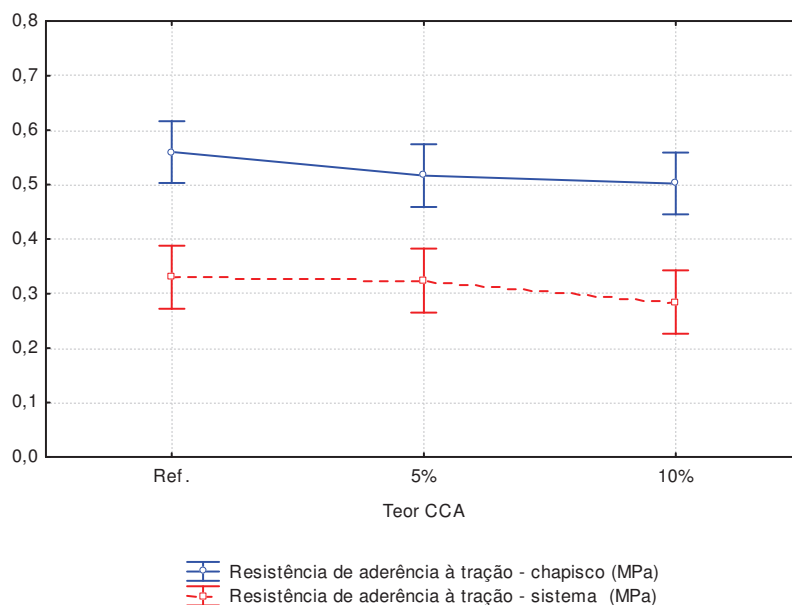
**Tabela 72 - Análise de variância fatorial da influência da temperatura de sinterização e teor de CCA nos na resistência de aderência à tração do sistema de revestimento e argamassa de chapisco.**

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	Valor de P	Efeito significativo
Tipo de substrato	2	1,15055	0,5752	22,551	0,00000	S
Teor	2	0,07426	0,0373	1,456	0,23988	NS
Tipo de substrato*Teor	4	1,88770	0,1289	5,056	0,00011	S
Erro	74	1,51359	0,02045			

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

Mesmo que a análise de variância (ANOVA) não apresente efeito significativo para o teor de CCA, observou-se a tendência de diminuição nas resistências de aderência nas argamassas de chapisco e argamassas de revestimento à medida que se faz a substituição do aglomerante por CCA.

A Figura 79 apresenta a relação entre as resistências de aderência à tração dos blocos chapiscados e sistema de revestimento em função dos teores de CCA:



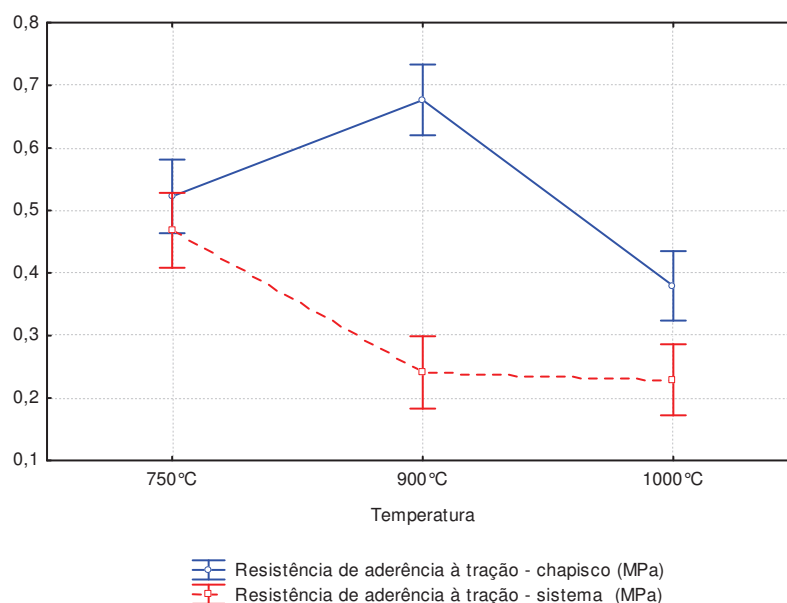
**Figura 79 - Relação entre resistências de aderência à tração entre o chapisco e o revestimento em função do teor de CCA.**

É possível deduzir que o emprego da CCA na argamassa de chapisco apresenta uma queda de cerca de 9% na resistência de aderência à tração desta argamassa. Da mesma forma, o mesmo comportamento foi observado no sistema de revestimento, em que ocorre uma queda de cerca de 12%.

Gasperin (2011) verificou que a introdução de pozolana (sílica ativa) ao chapisco é responsável por uma tendência de aumento significativo da resistência de aderência à tração em substratos de concreto. Contudo, o mesmo comportamento não é observado com a introdução de pozolana (CCA) em argamassas aplicadas sobre substratos cerâmicos.

A Figura 79 apresenta o comportamento observado em função do da temperatura de sinterização:





**Figura 80 - Relação entre resistências de aderência à tração entre o chapisco e o revestimento em função da temperatura de sinterização.**

Para o fator temperatura de sinterização observa-se que argamassa de chapisco apresenta, para temperatura de 900°C, 56% de aumento em relação ao valor mais baixo (substrato 1000°C). No sistema de revestimento encontra-se uma queda total de 49% na resistência de aderência à tração desta argamassa.

Diferentemente do que observado por Pagnussat (2013), em que o autor afirma que o aumento da temperatura de sinterização contribui diretamente para o aumento da resistência de aderência das argamassas, neste trabalho, verificou-se que o fator temperatura (dadas as características da argila empregada) por si só não é responsável pelo incremento da resistência das argamassas.

Quanto aos tipos de ruptura ocorridas nos ensaios, é possível afirmar, qualitativamente, que entre as condições de 900 e 1000°C, majoritariamente, estas ocorreram junto à argamassa. As imagens das rupturas encontram-se nos Apêndices A e B, juntamente com os resultados obtidos para os ensaios de resistência de aderência à tração.

É importante ressaltar que outros fatores podem ter intervindo nas resistências dos revestimentos. Especula-se que possam ser atribuídos às características de rugosidade da argamassa de chapisco ou à dinâmica de aderência na camada de preparo.



## 5 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais deste trabalho, conforme os objetivos propostos.

A avaliação da porosidade de cerâmicas frente à aderência de revestimentos de argamassa, em especial ao emprego de chapisco com cinza de casca de arroz possui um caráter inovador na pesquisa científica. Sendo assim, os resultados obtidos são válidos para a compreensão do comportamento da argamassa de preparo. Na sequência, são apresentadas as conclusões finais que respondem aos objetivos propostos, circunscritas às condições de estudo deste trabalho

O uso da cinza de casca de arroz em substratos cerâmicos, nas delimitações deste trabalho, contribui para a diminuição das resistências de aderência no sistema de revestimento. Quanto ao emprego da CCA nas argamassas de chapisco, observa-se que a pozolana apresentou um pequeno incremento na resistência de aderência à tração dos chapiscos, prejudicando a propriedade de resistência de aderência no sistema. Esta influência evidencia-se na cerâmica sinterizada a 900°C.

Considerando-se os tipos de substrato a que este estudo se restringe, o incremento da microrugosidade em função do aumento da temperatura de sinterização tende a não ser fator preponderante para o aumento das resistências de aderência. Esta propriedade apresentou-se significativa, tendo a microrugosidade aumentado em função da elevação da temperatura. A influência da microrugosidade não se pode confirmar através da metodologia de obtenção da extensão de aderência empregada. Contudo, os aspectos relativos à absorção capilar apresentam efeito mais significativo para o propriedade de resistência de aderência à tração.

Quanto às propriedades de absorção (capilar e total) dos substratos, em que foram testados diversos métodos. O aumento da temperatura das cerâmicas analisadas apresenta um comportamento em que este influi na diretamente no aumento da porosidade total da cerâmicas. Porém, o coeficiente de absorção capilar não apresenta o mesmo comportamento com as temperaturas de queima adotadas para a mesma cerâmica.

O método de Rilem TC 116 PCD para obtenção da taxa de absorção capilar empregado tanto nos blocos quanto nos chapiscos, apresenta bons resultados em relação aos

demais métodos e foi o mais adequado ao se tratar da resistência de aderência à tração dos chapiscos empregados.

A análise da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas não apresenta relação satisfatória com a resistência de aderência à tração do sistema, exceto onde se empregou as argamassas de chapisco referência, nos três tipos de substratos.

## **5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

No desenvolvimento deste trabalho apresentaram-se outras possibilidades de pesquisas, que podem auxiliar no desenvolvimento de outras análises com propósitos semelhantes. Assim, constam para trabalhos futuros as seguintes sugestões:

- Emprego de técnicas de microtomografia para complemento de análise de porosidade dos materiais estudados;
- Análise do desempenho de chapiscos com substituições de CCA nas mesmas condições desta pesquisa, aplicados em substratos de concreto;
- Emprego de materiais fluorescentes para observação da cinética de absorção capilar em substratos porosos;
- Uso de substratos oriundos de blocos de vedação, dadas suas características na variação de espessura da face a revestir;
- Emprego de técnica para verificação da influência da rugosidade da argamassa de chapisco na aderência do revestimento;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, R. F.; SCHNEIDER, J.; CINCOTTO, M. A. Structure and Hydration Kinetics of Silica Particles in Rice Husk Ash Studied by  $^{29}\text{Si}$  High-Resolution Nuclear Magnetic Resonance. **Journal of the American Ceramic Society**, jun. 2005. v. 88, n. 6, p. 1514–1520.
- AMBA, J. C.; BALAYSSAC, J. P.; DÉTRICHÉ, C. H. Characterization of differential shrinkage of bonded mortar overlays subjected to drying. **Materials and Structures**, 3 mar. 2009. v. 43, n. 1-2, p. 297–308.
- ANGEL, J. D. M.; VÁSQUEZ, T. G. P.; JUNKES, J. A.; HORTZA, D. Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Química Nova**, 2009. v. 32, n. 5, p. 1110–1114.
- ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S.; CARASEK, H. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 2003. **Anais...** São Paulo, 2003. p. 159-168.
- ANGULO, S. C.; KAHN, H.; JOHN, V.; ULSEN, C. Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição. In: VI SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO. **Anais...** São Paulo, 2003, p. 1-14.
- ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília - Sistematização da incidência de casos**. 2010. 199 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.
- ANTUNES, R. P. do N.; JOHN, V. **Determinação e controle da energia de impacto de argamassas lançadas manualmente**. São Paulo: Epusp, 2007.
- ARAÚJO, G. A. B. C. **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió (AL) para revestimentos**. 1995. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1995.
- ARAÚJO JUNIOR, J. M. DE. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. 199 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2004.
- ARNOLD, D. C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**. 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736 - Cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 47 - Concreto - Determinação do teor de ar incorporado em concreto fresco - Método pressiométrico.** Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15261 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear).** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528 - Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2 - Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3 - Componentes cerâmicos Parte 3: Bloco cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653 Materiais pozolânicos — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578 Cimento Portland composto - Especificação.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175 Cal hidratada para argamassas – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779 Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção da água por capilaridade - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012.

BALAYSSAC, J. P.; NICOT, P.; RUOT, B.; DEVÈS, O.; DÉTRICHÉ, C. H. Influence of admixtures on the cracking sensitivity of mortar layers applied to a mineral substrate. **Construction and Building Materials**, jun. 2011. v. 25, n. 6, p. 2828–2836.

BARBOSA, W. DA S. **Alteração do comportamento reológico da suspensão cimentícia aplicada sobre substratos porosos.** 2010. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2010.

BARBOSA, W. DA S.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Alteração do comportamento reológico de pastas devido à presença de base porosa. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DAS ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-15.

BASTOS, P. K. X.; DÉTRICHÉ, C. H.; BALAYSSAC, J. P.; CINCOTTO, M. A. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, 2002. v. 2, n. 2, p. 57–70.

BAUER, E. (Org.). **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades.** Brasília, DF: SINDUSCON, 2005.

BAUER, E.; PAES, I. N.; SILVA, M. D. N. da; KRAUS, E. A influência do transporte de água no comportamento dos revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação. In: 4º CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS. **Anais...** Coimbra, 2012, p. 1-12.

BAUER, R. J. F. Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. **Anais...** Salvador, 1997, p. 319-331.

BERNARDES, A.; THOMÉ, A.; PRIETTO, P. D. M.; ABREU, A. G. de. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, 2008. v. 8, n. 3, p. 65–76.

BERUTTI, F. A. **Aplicação de métodos de ultra-som para avaliação e caracterização da microestrutura de materiais cerâmicos à base de alumina e sua associação com propriedades mecânicas**. 2004. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BIODIESELBR. Casca de Arroz: Energia. **Biodieselbr.com**, Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/residuo/energia-do-arroz.htm>>. Acesso em: 27 abr. 2013.

BONIN, L. C. (Org.). Terminologia de argamassas. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-31.

BUI, D. D.; HU, J.; STROEVEN, P. Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. **Cement and Concrete Composites**, mar. 2005. v. 27, n. 3, p. 357–366.

CALHEIRO, D. **Influência do uso de aditivos na moagem de cinzas de casca de arroz para sua adequação como co-produto**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2011.

CAMPREGHER, N. **Estudo de viabilidade da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose a aparas em material cerâmico**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005. .

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. São Paulo: Epusp, 1998.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos - avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1996.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2007. v. 2.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. **Anais...** Brasília, 2001, p. 43-67.

CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a unidades de alvenaria**. São Paulo: Epusp, 1997.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 121-143.



CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Aplicabilidade de argamassas de revestimento: avaliação empírica e comportamento reológico por squeeze-flow. In: 3º CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO. **Anais...** Lisboa, 2010, p. 1-12.

CARDOSO, J. M. DE L. B.; MASUERO, A. B.; CORDEIRO, L. Análise da aderência de argamassas produzidas com agregados miúdos reciclados. In: 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS. **Anais...** Coimbra, 2012, p. 1-12.

CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. E. C.; OLIVEIRA, A. M. V. DE; BRUM, I. A. S. DE; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P. V.; COSTA, D. B. Características do entulho e do agregado reciclado. In: CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. DE (Org.). **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA: CAIXA, 2001, p. 142–187.

CASCUDO, O. Estrutura atômica e molecular dos materiais. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1. ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2007, v. 1p. 139–178.

CEM WEEK. CemWeek - Critical insight for the global cement industry. **CW Group: Global cement demand to reach 4bn tons by 2013**, 21 fev. 2013. Disponível em: <<http://www.cemweek.com/news/features/911-features/16980-cw-group-global-cement-demand-to-reach-4bn-tons-by-2013>>. Acesso em: 7 maio. 2013.

CEOTTO, L. H.; BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. Revestimentos de argamassas. **Habitare**, 2005. v. 1, p. 96.

CEZAR, D. DE S. **Caraterísticas de durabilidade de concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento**. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

CHAGAS, S. V. M. das. **Estudo e proposta de um modelo de resistência à fadiga de argamassas de revestimento em estado plano e tridimensional de tensões**. 2009. 172 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

COLLATTO, D. **Utilização de resíduo proveniente da estação de tratamento de efluentes de indústria de papel como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.

CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. 2006. 208 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

CORDEIRO, L. DE N. P. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica**. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

CORTEZ, I. M. M. **Contribuição ao estudo dos sistemas de revestimento à base de argamassa com a incorporação de fibras sintéticas**. 1999. 219 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1999.

COSTENARO, F. L.; LIBORIO, J. B. L. Avaliação de concretos com adições de cinza e sílica da casca de arroz. In: 15° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS. **Anais...** Natal, 2002, p. 2107-2112.

CULTRONE, G; SEBASTIÁN, E.; ELERT, K.; TORRE, M. J. DE LA; CAZALLA, O.; RODRIGUES-NAVARRO, C. Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. **Journal of the European Ceramic Society**, mar. 2004. v. 24, n. 3, p. 547–564.

DÉSIR, J. M. Alvenaria estrutural. **Núcleo de Apoio Pedagógico à Educação a Distância**, [S.l.], 2 jun. 2013. Institucional. Disponível em: <[http://thor.sead.ufrgs.br/objetos/alvenaria-estrutural/blocos\\_ceramicos.php](http://thor.sead.ufrgs.br/objetos/alvenaria-estrutural/blocos_ceramicos.php)>. Acesso em: 2 jun. 2013.

DIOGO, A. G. P. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. 2011. 167 f. Dissertação: (Mestrado em Construção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

DUALIBE, R. P.; CAVANI, G. DE R.; OLIVIEIRA, M. C. B. Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 508-517.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizados em Porto Alegre**. 2000. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.

ELAQRA, H.; GODIN, N.; PEIX, G.; MILI, M. R.; FANTOZZI, G. Damage evolution analysis in mortar, during compressive loading using acoustic emission and X-ray tomography: Effects of the sand/cement ratio. **Cement and Concrete Research**, Maio. 2007. v. 37, n. 5, p. 703–713.

EL-DAKROURY, A.; GASSER, M. S. Rice husk ash (RHA) as cement admixture for immobilization of liquid radioactive waste at different temperatures. **Journal of Nuclear Materials**, nov. 2008. v. 381, n. 3, p. 271–277.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 998-1: Specification for mortar for masonry**. 2003.

FEDUMENTI, M. B. **Avaliação da influência da cinza de casca de arroz no comportamento de concretos com agregado reciclado de concreto em relação a propriedades mecânicas e de durabilidade, com ênfase no transporte de íons de cloreto**.

2013. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2013.

FIGUEIREDO, S. C. **Estudo exploratório de incorporação da lama de filtros rotativos a vácuo (LFRV), gerada na Millennium Inorganic Chemicals, em uma matriz cerâmica vermelha.** 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Limpas no Processo Produtivo), Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2008.

GALLEGOS, H. Adhésion entre el mortero y las unidades de albañilería. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. **Anais...** Goiânia, 1995, p. 117-133.

GASPERIN, J. **Aderência de revestimentos de argamassa em substrato de concreto: influência da forma de aplicação e composição do chapisco.** 2011. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

GONÇALVES, S. R. DE C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa - Estudo de caso.** 2004. 148 f. Dissertação: (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

GONÇALVES, S. R. DE C.; BAUER, E. Estudo de caso da variação da resistência de aderência à tração em uma parede. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 562-567.

GROOT, C. **Effects of water on mortar-brick bond.** 1993. 197 f. Tese: (Doutorado em Engenharia Civil), Technische Universiteit Delft, Delft, 1993.

GRUN, E. **Caracterização de argilas provenientes de Canelinha/SC e estudo de formulações de massas cerâmicas.** 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, SC, 2007.

GUMMERSON, R. J.; HALL, C.; HOFF, W. D. Water movement in porous building materials - II. Hydraulic suction and sorptivity of brick and other masonry materials. **Building and Environment**, 1980. v. 15, p. 101-108.

HEINECK, S. **Desempenho de argamassas de revestimentos com incorporação de agregados reciclados de concreto.** 2012. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2012.

HONÓRIO, T.; CARASEK, H. Métodos para a avaliação da absorção de água do substrato. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-22.

HONÓRIO, T.; CARASEK, H. Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimentos de argamassa. In: 3º CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO. **Anais...** Lisboa, 2010, p. 1-12.

HOPPE, T. F. **Resistividade elétrica de concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz**. 2005. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

IRGA. Sílica da casca de arroz garante resistência e durabilidade na construção civil. **Instituto Rio Grandense do Arroz**, [S.l.], de maio de. 2013. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/index.php?principal=1&secao=1&id=638>>.

JENNINGS, V. A.; WERNER, A. M.; PARK, C. W.; LANGE, D. A. The Role of Water Transport between Brick and Mortar. **The Masonry Society Journal**, 2000. p. 61–74.

JOHARI, I. *et al.* Effect of the change of firing temperature on microstructure and physical properties of clay bricks from Beruas (Malaysia). **Science of Sintering**, 2010. v. 42, n. 2, p. 245–254.

KARIM, M. R.; ZAIN, M. F. M.; JAMIL, M.; LAI, F. Significance of waste materials in sustainable concrete and sustainable development. In: 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOTECHNOLOGY AND ENVIROMENT MANAGMENT. **Anais...** Singapura: IACSIT Press, 2011, p. 43-47.

KAZMIERCZAK, C. Produtos de cerâmica vermelha. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1. ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2007, v. 1p. 563–585.

KAZMIERCZAK, C. DE S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. **Estudos Tecnológicos**, 2007. v. 3, n. 1, p. 47–58.

KAZMIERCZAK, C. DE S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influência do tipo e preparo de substrato na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa industrializada. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-9.

KHALAF, F. M.; WILSON, J. G. Strength assessment of clay bricks using porosity dependent techniques. **The Masonry Society Journal**, 1999. v. 17, n. 1, p. 9–19.

KIELING, A.; CAETANO, M. A.; KULAKOWSKI, M. P.; KAZMIERCZAK, C. DE S. Influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, 16 set. 2009. v. 5, n. 2, p. 157–170.

KRAKOWIAK, K. J.; LOURENÇO, P. B.; ULM, F. J. Multitechnique investigation of extruded clay brick microstructure. **Journal of the American Ceramic Society**, 2011. v. 94, n. 9, p. 3012–3022.

KRUG, L. F. **Influência do beneficiamento por peneiramento no comportamento da cinza de casca de arroz: estudo como adição pozolânica em concretos**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2011.

LANGE, D. A.; DEFORD, H. D.; WERNER, A. M. Microstructural investigation of mortar/unit interaction. **The Masonry Society Journal**, 1999. v. 17, n. 1, p. 9–19.

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) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 266 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

LERTSATITTHANAKORN, C.; ATTHAJARIYAKUL, S.; SOPONRONNARIT, S. Techno-economical evaluation of a rice husk ash (RHA) based sand–cement block for reducing solar conduction heat gain to a building. **Construction and Building Materials**, jan. 2009. v. 23, n. 1, p. 364–369.

MACEDO, D.; RIBEIRO, P.; MACHADO, G.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Influência do tempo entre a aplicação de chapisco rolado e a execução do revestimento de argamassa na aderência do sistema. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA. **Anais...** Belo Horizonte, 2007, p. 1-12.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. B. DE; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo: Epusp, 1998.

MAPA. Ministério da Agricultura. **Culturas**, [S.l.], 27 abr. 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>>. Acesso em: 27 abr. 2013.

MAUROUX, T. **Impact du séchage sur les propriétés d'adhérence entre un mortier et un support - Influence de l'adjuvantation par des éthers cellulose**. 2011. 224 f.: Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Université de la Rochelle, La Rochelle, 2011.

MARQUES, P.; LAGINHA, I.; COSTA, C. Resposta espectral de argamassas aos ultra-sons para avaliação da resistência à compressão. In: 4º CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS. **Anais...** Coimbra, 2012, p.1-10.

MASSAZZA, F. **Leas's Chemistry of Cement and Concrete**. 4th. ed. London: Arnold Publishers, 1988.

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 Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

METHA, P. K. Society, sustainability, and the global concrete industry. In: 51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Anais...** Curitiba, 2009.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties, and materials**. 3. ed. California: McGraw-Hill, 2006. v. 3.

MOLIN, D. C. DAL. Adições minerais. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, SP: 2011, v. 2p. 1946.

MOTA, J. M. DE F.; CARASEK, H.; COSTA E SILVA, A. J. DA; BARBOSA, F. R.; FEITOSA, A.; SANTOS, W. Argamassas inorgânicas com adição de metacaulim. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Belo Horizonte, 2011, p. 1-10.

MOTA, J. M. F.; COSTA E SILVA, A. J.; CARASEK, H.; BARBOSA, F. R. Análise em obra da resistência de aderência de revestimentos de argamassa com o preparo do substrato com solução de cal e chapisco. In: X CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA Y XII CONGRESO DE CALIDAD EM LA CONSTRUCCIÓN. **Anais...** Valparaíso, 2009, p. 1-17.

MOTA, J. M. F.; OLIVEIRA, R. A.; DOURADO, K. C. DE A. Utilização de pozolana em argamassas de reforço para alvenarias resistentes. In: 7º CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS. **Anais...** Fortaleza, 2011, p. 1-12.

MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco.** 2007. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

MUTHADHI, A.; KOTHANDARAMAN, S. Optimum production conditions for reactive rice husk ash. **Materials and Structures**, 22 jan. 2010. v. 43, n. 9, p. 1303–1315.

NAIR, D. G.; FRAAIJ, A.; KLAASSEN, A. A. K.; KENTGENS, A. P. M. A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. **Cement and Concrete Research**, jun. 2008. v. 38, n. 6, p. 861–869.

NAKAKURA, E.; MUNHOZ, F. A. C.; BATTAGIN, A. Evolução da aderência em sistema de revestimento de argamassa. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-14.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA, D. DE F.; NEVES, G. DE A.; PATRICIO, S. M. DA ROCHA; BRASILEIRO, F. E. Estudo comparativo entre comportamento mecânico das argamassas aditivadas, em painéis com e sem chapisco para uso em revestimento. In: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. **Anais...** Florianópolis, 1999, p. 3401-3408.

PAES, I. L.; BAUER, E.; CARASEK, H. Revestimento em argamassa: influência do substrato no transporte e fixação de água, nos momentos pós-aplicação. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** São Paulo, 2003, p. 557-568.

PAES, I. L.; BAUER, E.; CARASEK, H. Influência da estrutura de poros de argamassas mistas e de blocos de concreto e cerâmico no desempenho de revestimentos. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 466-476.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação.** 2004. 242 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 2004.

PAGNUSSAT, D. T. **Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa.** 2013. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Alegre, RS, 2013.

PARAVISI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa.** 2008. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.

PARRA, B. S. *et al.* Rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, 2006. v. 11, n. 2, p. 15–18.

PEREIRA, C. H. DE A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de deslocamento do revestimento à base de argamassa.** 2007. 195 f. Tese: (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

PERLIN, L. P. **Tomografia ultrassônica em concreto: desenvolvimento de ferramenta computacional.** 2011. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2011.

PETRY, S. B. **Estudo da permeabilidade à água na camada de cobrimento de protótipos de concreto com altos teores de cinza volante.** 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2004.

PINTO, T. DE P.; GONZÁLEZ, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** Brasília: CAIXA, 2005.

POSSAN, E.; VENQUIARUTO, S. D.; MOLIN, D. C. DAL. Adição de cinza de casca de arroz no concreto: benefícios de durabilidade. In: VI ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA - ENTECA 2007. **Anais...** Maringá, 2007, p. 1-10.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa.** 2007. 273 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa.** 2<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre, RS: Edipucrs, 2011.

REDA TAHA, M. M.; EL-DIEB, A. S.; SHRIVE, N. G. Sorptivity: a reliable measurement for surface absorption of masonry brick units. **Materials and Structures**, 2001. v. 34, p. 438–445.

RICEHUSKASH.COM. Application of Rice Husk Ash. **Rice Husk Ash**, [S.l.], 16 maio. 2013. Disponível em: <<http://www.ricehuskash.com/index.htm>>. Acesso em: 16 maio. 2013.

RILEM TECHNICAL COMMITTEES. RILEM TC 116 PCD: Permeability of concrete as a criterion of its durability. **Materials and Structures**, 1999. v. 32, p. 174–179.

ROSA, D. DOS S.; MARINI, M. V. Avaliação da rugosidade e aderência em concreto. In: ANAIS DO 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Anais...** Florianópolis, 2011, p. 1-15.

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao estudo da aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substrato de concreto.** 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

SAFIUDDIN, M.; WEST, J. S.; SOUDKI, K. A. Properties of freshly mixed self-consolidating concretes incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material. **Construction and Building Materials**, maio. 2012. v. 30, p. 833–842.

SANTANA, C. R. B. **Estudo da resistência de aderência ao cisalhamento em revestimentos argamassados.** 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, PE, 2010.

SCARTEZINI, L. M.; JUCÁ, T. R.; LINHARES, H.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O.; CARASEK, H. Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa. **Ambiente Construído**, 2002. v. 2, n. 2, p. 85–92.

SCARTEZINI, L. M. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa.** 2002. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2002.

SILVA, C. M.; FLORES-COLEN, I.; GASPAR, S. Numerical analysis of renders' adhesion using an interface model. **Construction and Building Materials**, jan. 2013. v. 38, n. 2013, p. 292–305.

SILVA, C. R. da. **Avaliação de diferentes tratamentos de base aplicados sobre alvenaria de bloco cerâmico na aderência da argamassa: estudo de caso.** 2011. 150 f. Dissertação: (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2011.

SILVA, E. J. da. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil.** 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP, 2009.

SILVA, F. B.; BARROS, M. M. B. DE; MONTE, R. Módulo de deformação de argamassas: avaliação dos métodos e principais fatores intervenientes. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-12.

SILVA, F. G. S. Diretrizes de qualidade para revestimentos de argamassa. In: IX ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO. **Anais...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2005, p. 1274-1277.



SILVA, F. G. S. **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa**. 2006. 266 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

SILVA, F. G. S.; BAUER, E. Avaliação da fissuração em argamassas. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-15.

SILVA, N. G. DA; GLEIZE, P. J. P.; GOMES, L. A. Metodologia para avaliação da fissuração em revestimento de argamassa. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-16.

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 Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Interunidades Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2004.

SILVA, V. S.; GOMES, A. DE O.; SANTOS, S. A. Influência do processo de cura no desempenho das argamassas de chapisco. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-13.

SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L. Avaliação de argamassas com cinza e casca de arroz. In: ANAIS DO 51º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. **Anais...** Salvador, 2004, p. 1-12.

SILVA, V. S.; LIBÓRIO, J. B. L. Avaliação do efeito da sílica extraída da casca de arroz na aderência de argamassas e chapiscos. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais...** São Paulo, 2003, p. 385-399.

SILVEIRA, L. NOGUEIRA, J. R.; ERHART, R.; KULAKOWSKI, M. Caracterização da pozolanicidade de cinza de casca de arroz com diferentes teores de perda ao fogo com vistas ao emprego em concreto. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS. **Anais...** Minho, 2014, p. 593-605.

SOLTANI, F. **Caractérisation de la patê de ciment par des méthodes ultrasonores**. 2010. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Ecole Centrale de Lille, Lille, 2010.

SOUSA, U. E. L. DE; DEANA, D. F. **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável**. São Paulo: FINEP, 2007.

SOUTO, F. A. F. **Avaliação das características físicas, químicas e mineralógicas da matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha nos municípios de Macapá e Santana-AP**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2009.

SOUZA, C. C.; VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. Alterações microestruturais de cerâmica argilosa incorporada com rejeito de minério de ferro. **Revista Matéria**, 2008. v. 13, n. 1, p. 194–202.

SOUZA, G. P.; HOLANDA, J. N. F. Comportamento de massas argilosas contendo resíduo proveniente do setor petrolífero. **Cerâmica**, 2003. n. 49, p. 128–132.

SPRINGER JUNIOR, H. **Contribuição ao estudo dos revestimentos argamassados externos em substratos de concreto com vistas à minimização da geração de resíduos**. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Gestão Tecnológica, Centro Universitário Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2008.

SUA-IAM, G.; MAKUL, N. Utilization of limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete incorporating high volumes of untreated rice husk ash as fine aggregate. **Construction and Building Materials**, jan. 2013. v. 38, p. 455–464.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP, 2006.

TASHIMA, M. M.; FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L.; BERNABEU, J. P.; SOUSA, L. C.; MELGES, J. L. P. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Ambiente Construído**, 2012. v. 12, n. 2, p. 151–163.

VAN, V.-T.-A.; RÖSSLER, C.; BUI, D.-D.; LUDWIG, H.-M. Mesoporous structure and pozzolanic reactivity of rice husk ash in cementitious system. **Construction and Building Materials**, jun. 2013. v. 43, p. 208–216. . Acesso em: 23 mar. 2013.

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. Avaliação de argilas cauliníticas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, 2011. v. 57, p. 319–323.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, J. B.; MONTEIRO, S. N. Desenvolvimento de massas de revestimento cerâmico com argila caulinítica e nefelina sienito. **Cerâmica**, 2008. v. 54, n. 330, p. 184–192.

VIEIRA, C. M. F.; TEIXEIRA, S. S.; MONTEIRO, S. N. Efeito da temperatura de queima nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha contendo chamote. **Cerâmica**, 2009. v. 55, p. 332–336.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons de cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

XU, W.; LO, T. Y.; MEMON, S. A. Microstructure and reactivity of rich husk ash. **Construction and Building Materials**, abr. 2012. v. 29, p. 541–547. Acesso em: 23 mar. 2013.

ZERBINO, R.; GIACCO, G.; BATIC, O. R.; ISAIA, G.C. Alkali–silica reaction in mortars and concretes incorporating natural rice husk ash. **Construction and Building Materials**, nov. 2012. v. 36, p. 796–806.

## APÊNDICE A



Tabela A1 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor referênciã.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	
750 - 0	A	1541,46	775	0,50	100		
	B	0	0	0			
	C	1511,84	661	0,44	90	10	
	D	1463,07	549	0,38	71	23	6
	E	1479,98	1276	0,86	100		
	F	1397,56	859	0,61	88	12	
	G	1444,75	975	0,67	7	11	82
	H	1380,24	705	0,51	14	37	49
	I	1348,74	591	0,44	26	27	47
	J	1475,16	1061	0,72	68	2	30
	K	1265,68	669	0,53	38	2	60
	L	1556,63	1064	0,68	94	6	
Média das formas de ruptura				58%	12%	30%	
Média (MPa) corrigida: 0,57				Cv:18,98%			

Em vermelho: dado espúrio

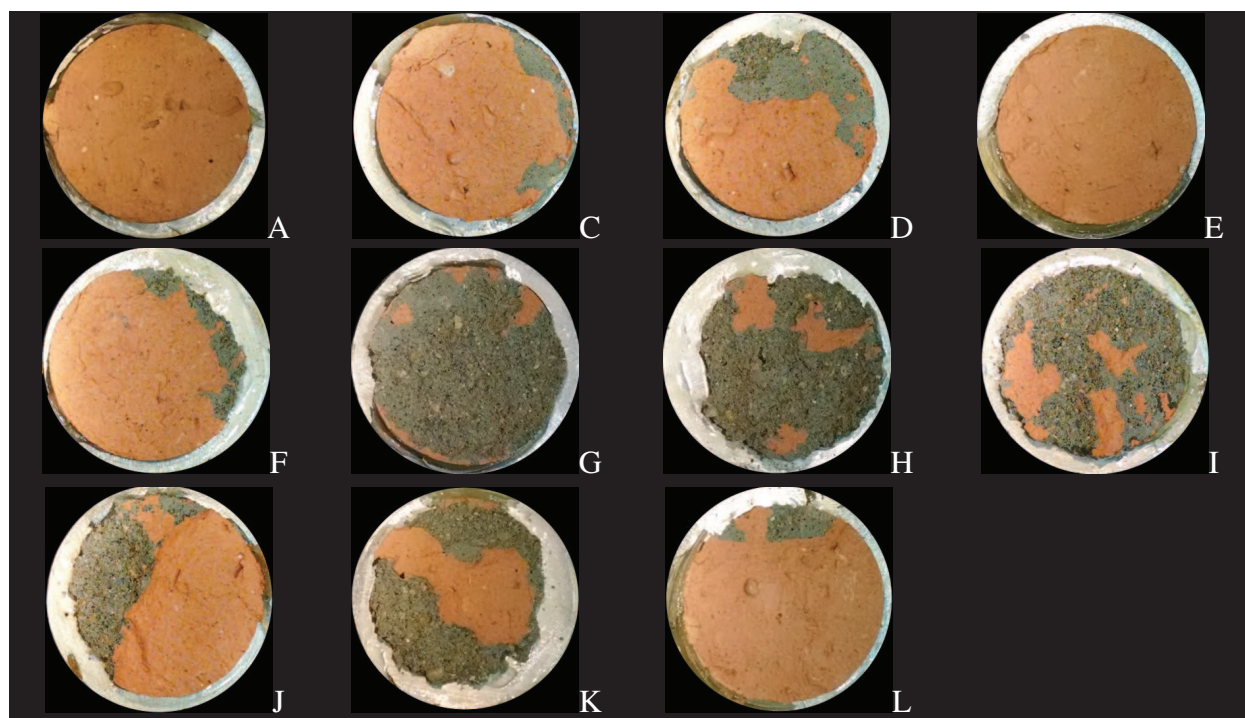


Figura A1 - Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor referênciã.

Tabela A2 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 5% de CCA.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	
750 - 5	A	1510,84	486	0,32	100		
	B	1597,9	572	0,36	100		
	C	1425,37	645	0,45	66	34	
	D	1501,91	815	0,54	94	6	
	E	1522,30	579	0,38	97	3	
	F	1532,41	542	0,35	92	8	
	G	1190,05	389	0,33	55	2	43
	H	1627,70	976	0,60	100		
	I	1317,24	609	0,46	70		30
	J	1334,76	628	0,47	100		
	K	1442,30	682	0,47	98	2	
	L	1417,03	673	0,47	74		26
Média das formas de ruptura					87%	6%	7%
Média (MPa) corrigida: 0,46					Cv: 11,35%		

Em vermelho: dado espúrio

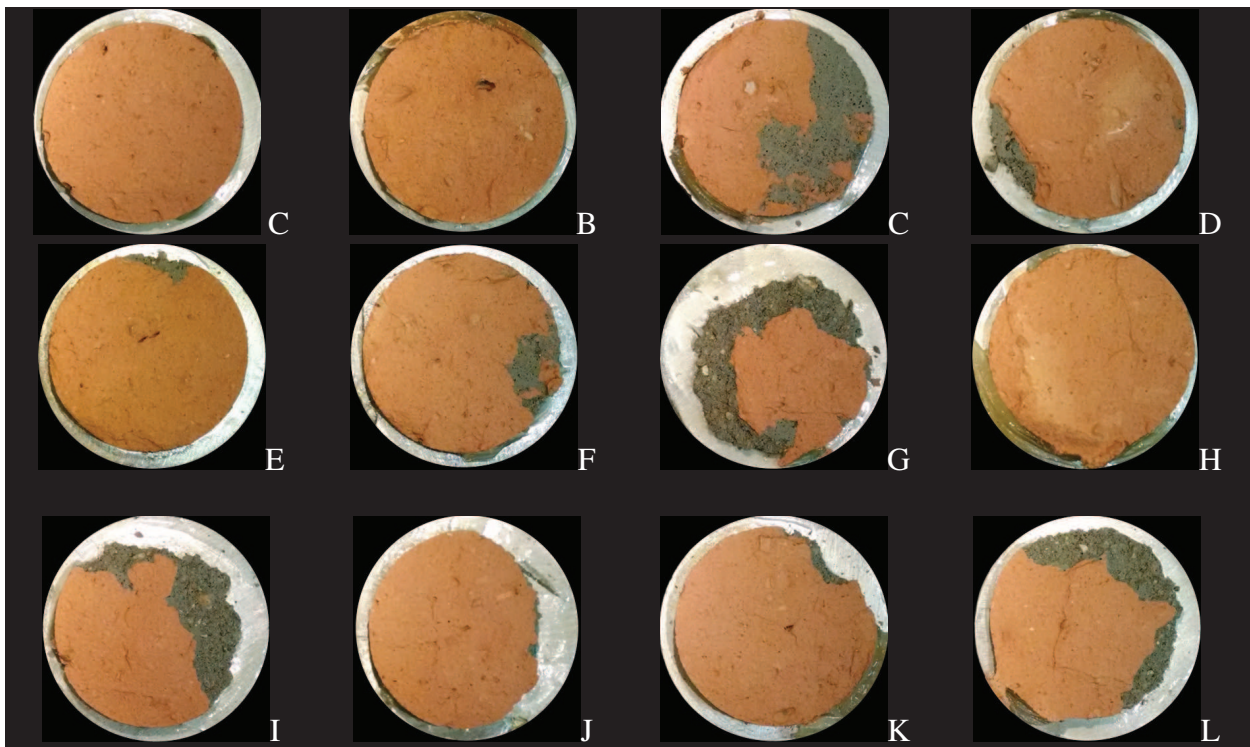


Figura A2 – Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 5% de CCA.

Tabela A3 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 10% de CCA.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	
750 - 10	A	1480,84	707	0,48	93		7
	B	1505,81	968	0,64	90	10	
	C	1504,25	850	0,57	100		
	D	1479,15	778	0,53	96	4	
	E	1500,19	575	0,38	100		
	F	1598,50	766	0,48	100		
	G	1493,04	432	0,29	94	6	
	H	1496,74	1165	0,78	47	2	51
	I	1517,37	935	0,62	100		
	J	1600,16	1861	1,16	100		
	K	1542,02	524	0,34	95	1	4
	L	1511,58	1327	0,88	96	4	
Média das formas de ruptura				91%	2%	7%	
Média (MPa) corrigida: 0,56				Cv: 21,76%			

Em vermelho: dado espúrio

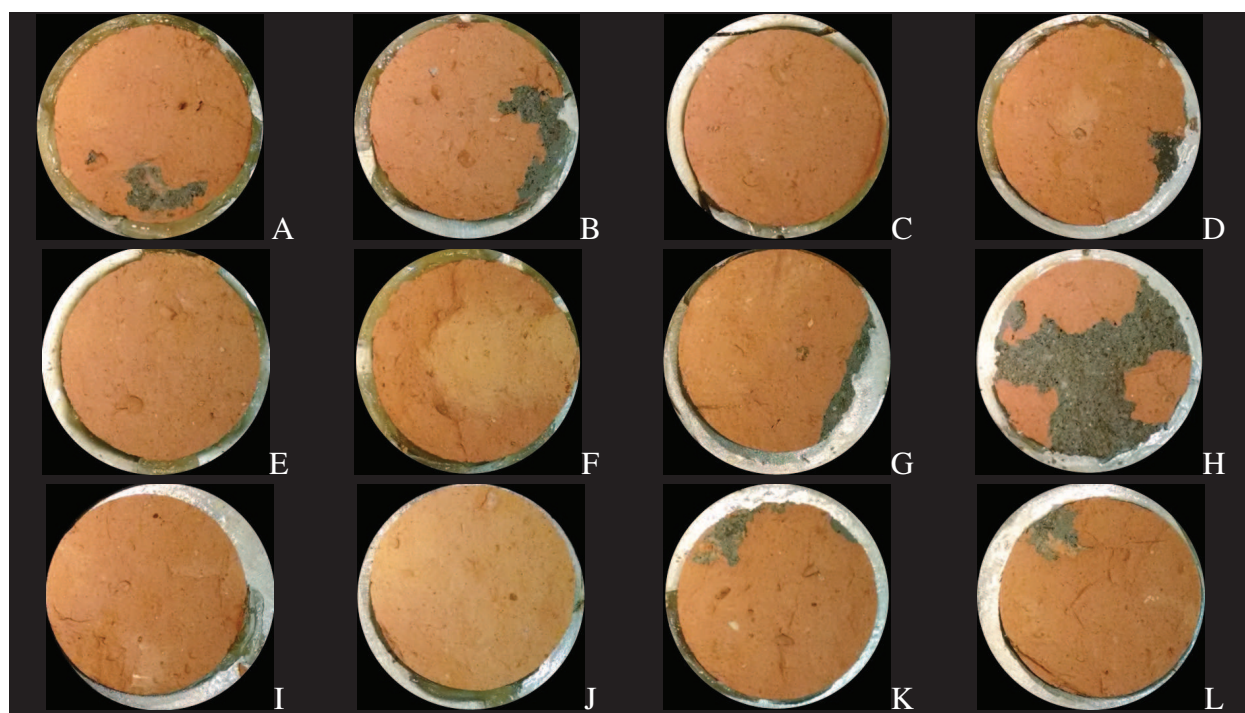


Figura A3 – Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 10% de CCA.

Tabela A4 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de referência.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	
900 - 0	A	1359,16	541	0,40	1	60	39
	B	1540,93	1054	0,68	51	49	
	C	1430,84	489	0,34		54	46
	D	1287,53	2396	1,86	41	28	31
	E	1514,52	760	0,50	4	42	53
	F	1428,33	947	0,66	34	39	26
	G	1595,08	627	0,39	10	45	45
	H	1483,43	2076	1,40	1	30	69
	I	1394,94	922	0,66	55	31	14
	J	1391,83	2079	1,49	2	22	75
	K	1478,25	1085	0,73	5	45	50
	L	1294,65	1371	1,06	1	28	71
Média das formas de ruptura				20%	42%	37%	
Média (MPa) corrigida: 0,64				Cv: 33,88%			

Em vermelho: dado espúrio

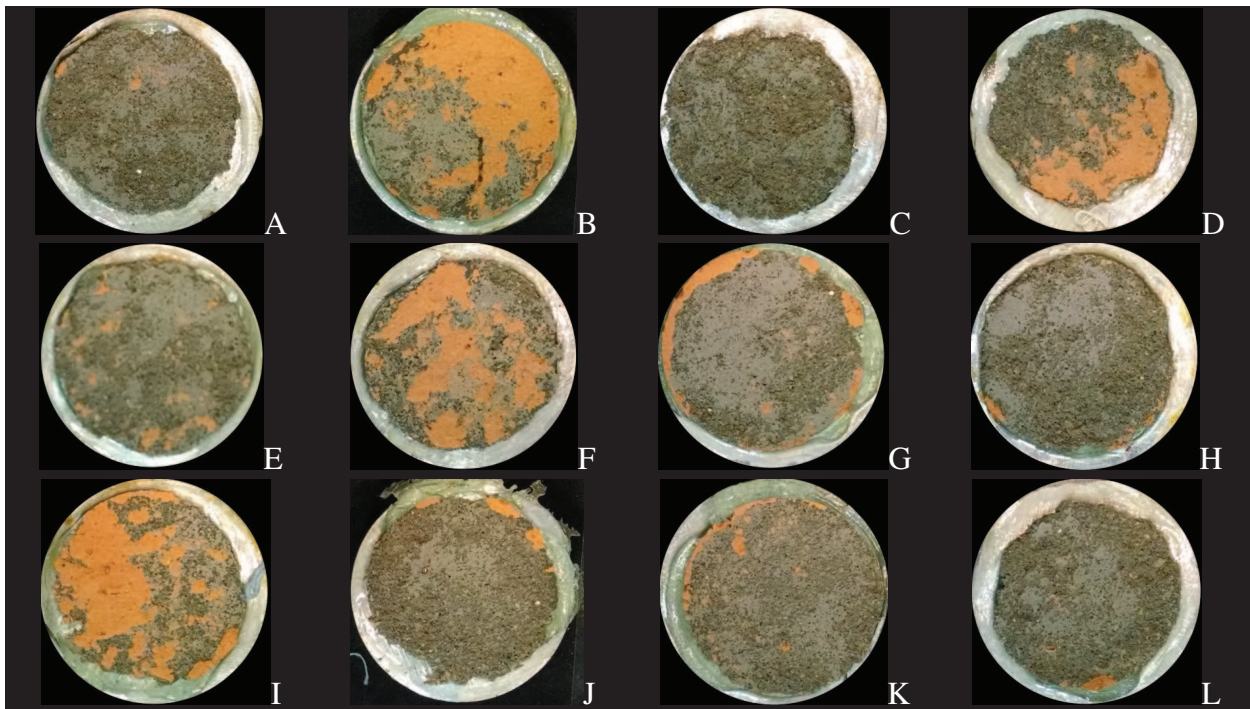


Figura A4 – Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de referência.



Tabela A5 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de 5% de CCA.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	
900 - 5	A	1452,96	784	0,54		70	30
	B	0	286	0			
	C	985,06	694	0,70		61	39
	D	1423,02	1658	1,17		63	37
	E	1490,31	946	0,63		85	14
	F	625,18	560	0,90		70	30
	G	548,85	461	0,84		23	77
	H	1400,90	1175	0,84		24	76
	I	1284,96	836	0,65	1	23	76
	J	1179,89	1654	1,40		14	86
	K	684,60	605	0,88		20	80
	L	1397,74	991	0,71		31	69
Média das formas de ruptura				0%	42%	58%	
Média (MPa) corrigida: 0,77					Cv: 13,79%		

Em vermelho: dado espúrio

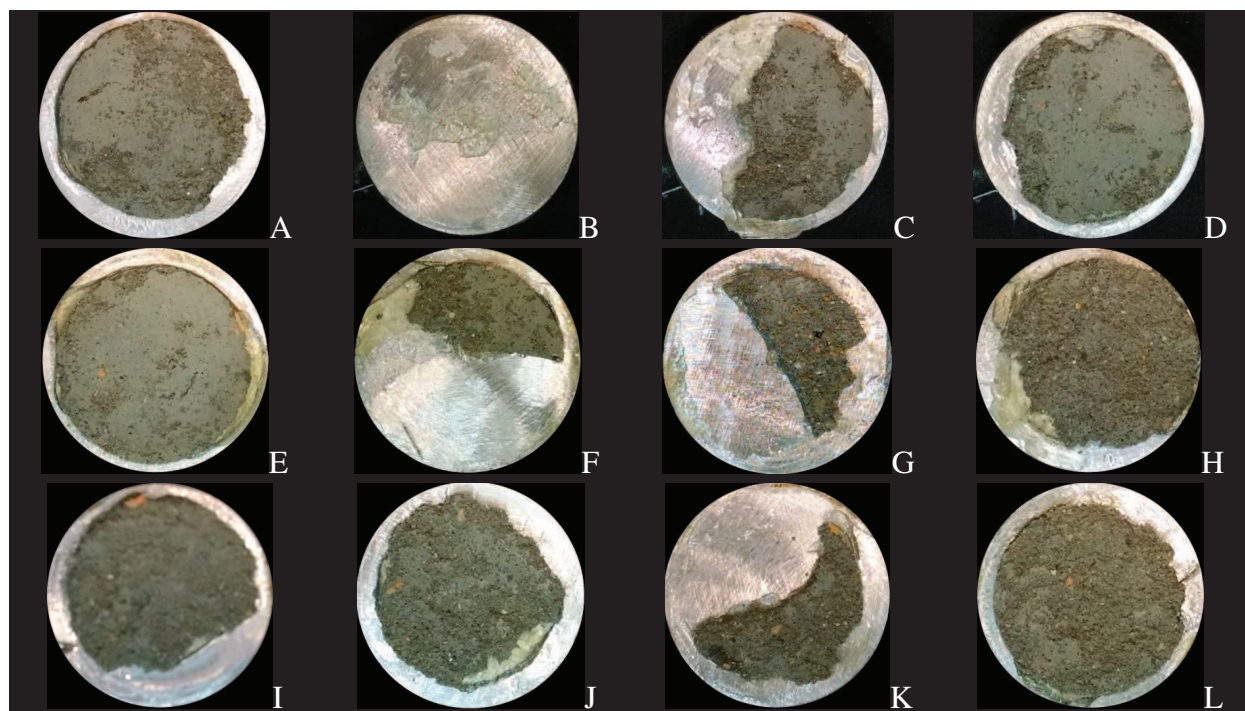


Figura A5 – Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de 5% de CCA.

Tabela A6 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de 10% de CCA.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)		
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco
900 – 10	A	1211,07	543		33	67
	B	1256,40	1866	1,49	49	51
	C	1322,82	455	0,34	46	54
	D	1483,91	832	0,56	24	76
	E	946,48	431	0,46	58	42
	F	1307,68	713	0,55	81	19
	G	1365,92	428	0,31	8	56
	H	1482,38	458	0,31	69	31
	I	1329,79	756	0,57	4	66
	J	490,25	470	0,96	19	81
	K	1205,88	807	0,67	61	39
	L	1311,27	966	0,74	3	81
Média das formas de ruptura				1%	55%	43%
Média (MPa) corrigida: 0,50				Cv: 29,75%		

Em vermelho: dado espúrio

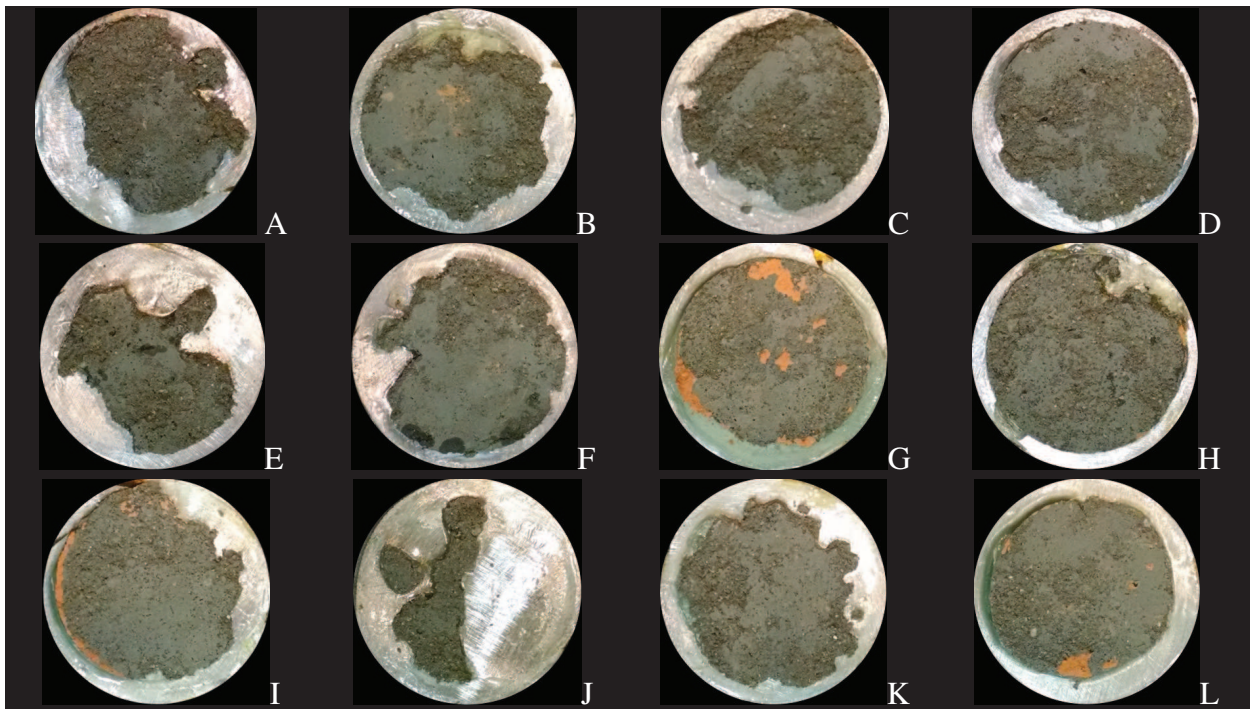


Figura A6 – Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de 10% de CCA.

Tabela A7 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de referência.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura			
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	
1000 - 0	A	1311,65	472	0,36		34	66
	B	1319,13	544	0,41		75	25
	C	1238,98	607	0,49		34	66
	D	1538,44	677	0,44		54	46
	E	1342,16	632	0,47		22	78
	F	1104,45	649	0,59		89	11
	G	1314,85	484	0,37		90	10
	H	1293,86	490	0,38		72	28
	I	1458,20	497	0,34		88	12
	J	1435,00	447	0,31		81	19
	K	1323,81	315	0,24		69	31
	L	1400,19	462	0,33		56	44
Média das formas de ruptura					0%	60%	40%
Média (MPa) corrigida: 0,39						Cv: 15,60%	

Em vermelho: dado espúrio

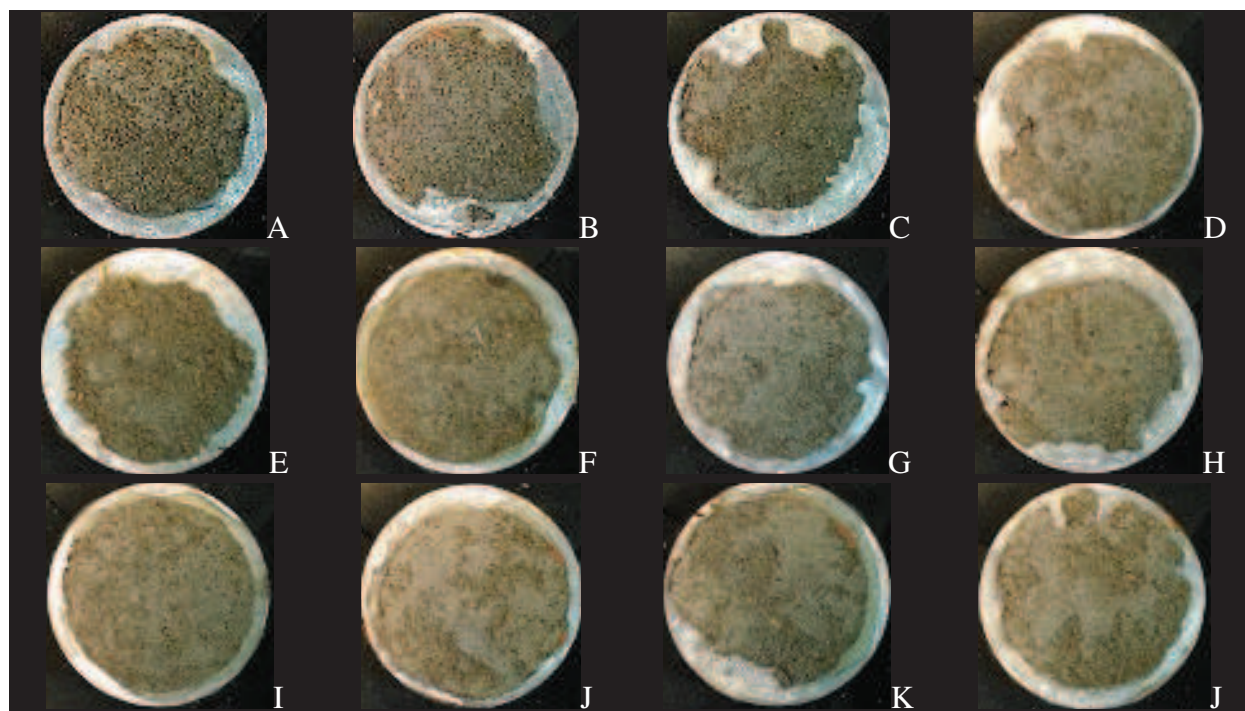


Figura A7 – Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de referência.

Tabela A8 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de 5% de CCA.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	
1000 - 5	A	1388,32	299	0,22	2	75	23
	B	1375,62	612	0,44	4	71	25
	C	1192,07	946	0,79		50	50
	D	1460,79	312	0,21	1	46	53
	E	1151,16	319	0,28	2	15	83
	F	1267,34	402	0,32		39	61
	G	1343,46	264	0,20		42	58
	H	1505,60	1009	0,67	3	55	41
	I	1114,24	328	0,29		40	60
	J	1466,02	1237	0,84		51	48
	K	1456,24	377	0,26	1	35	64
	L	1420,01	624	0,44		32	68
Média das formas de ruptura					1%	44%	55%
Média (MPa) corrigida: 0,30					Cv: 31,25%		

Em vermelho: dado espúrio

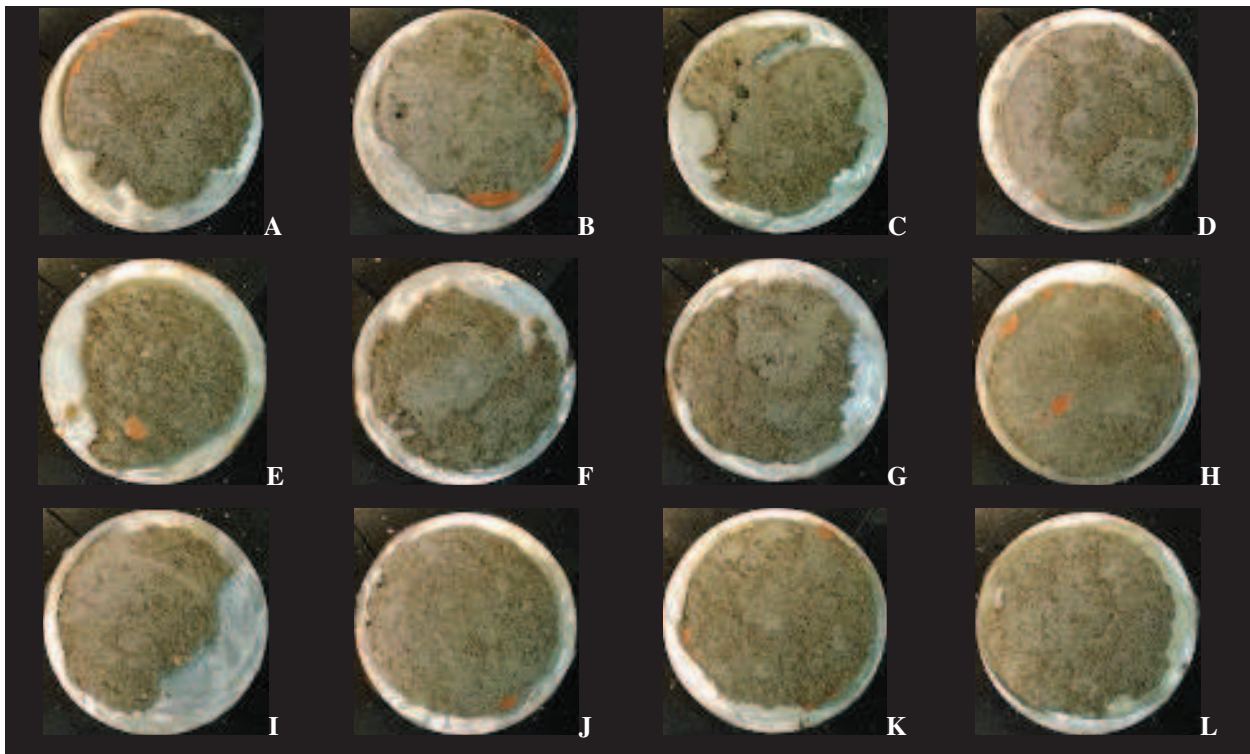


Figura A8 – Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de 5% de CCA.

Tabela A9 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de 10% de CCA.

Identificação	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
				Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	
1000 - 10	A	1433,39	609	0,42		70	30
	B	1351,01	619	0,46		45	55
	C	1370,85	442	0,32		97	3
	D	1443,32	495	0,34		64	36
	E	1406,98	321	0,23		73	27
	F	1124,85	427	0,38		54	46
	G	1406,56	574	0,41		67	33
	H	1348,20	827	0,61	1	89	10
	I	1212,07	667	0,55	2	89	9
	J	1344,91	719	0,53	7	74	18
	K	1318,82	647	0,49	1	89	11
	L	1295,58	1045	0,81	2	84	14
Média das formas de ruptura					1%	74%	25%
Média (MPa) corrigida: 0,45					Cv: 20,92%		

Em vermelho: dado espúrio

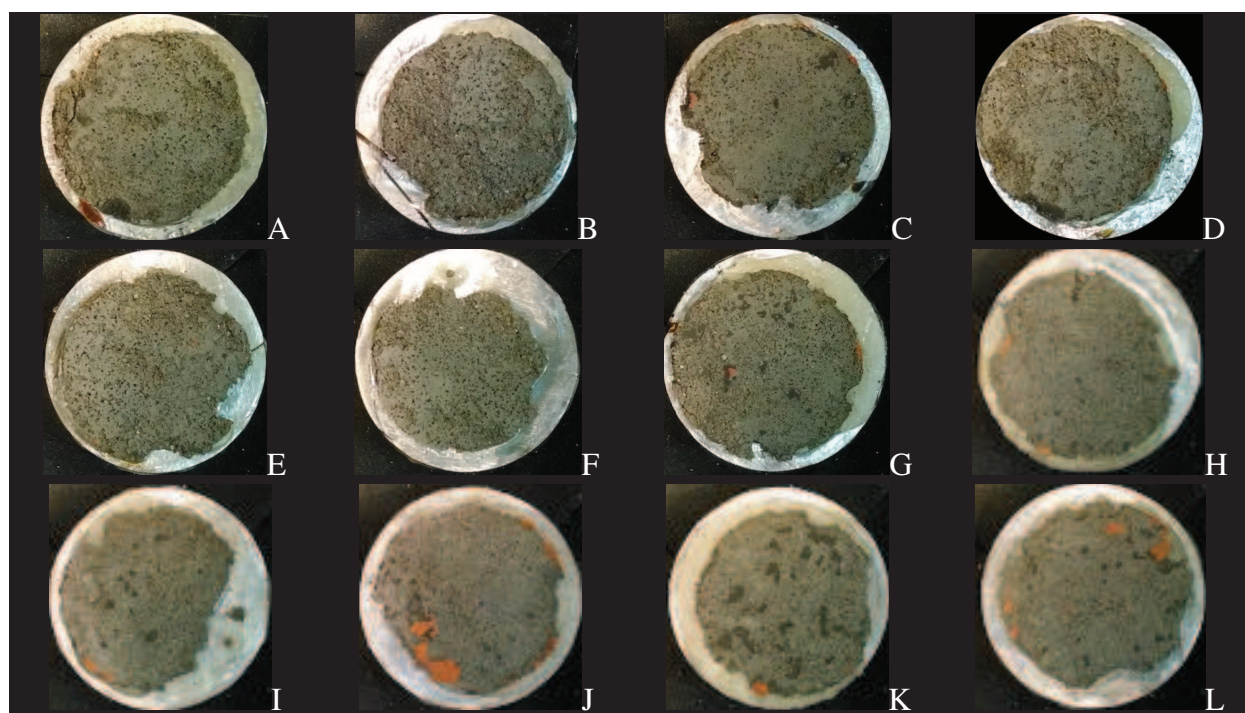


Figura A9 – Rupturas aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de 10% de CCA.



## APÊNDICE B





Tabela B1 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de referência no chapisco.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
750 0	A	41,5	41,47	41,35	41,44	1349	660	0,49			40		60		
	B	41,85	42,64	42,27	42,25	1402	251	0,18			25		75		
	C	42,72	42,43	41,95	42,37	1410	951	0,67			60		40		
	D	43,71	43,22	43,05	43,33	1474	861	0,58		35	40		25		
	E	42,35	43,08	43,03	42,82	1440	988	0,69		5	55		40		
	F	42,89	42,98	43,37	43,08	1458	359	0,25		5	60		35		
	G	41,8	42,39	42,76	42,32	1406	419	0,30			75		25		
	H	43,88	43,66	44,16	43,90	1514	566	0,37	100		0				
	I	42,6	42,98	43,13	42,90	1446	744	0,51		5	40		55		
	J	42,18	43,26	42,97	42,80	1439	557	0,39			30		70		
	K	42,30	43,33	42,46	42,70	1432	1111	0,78			85		15		
	L	41,49	42,03	41,93	41,82	1373	1011	0,74			85		15		
Média das formas de ruptura								13%	6%	43%	0%	39%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,50								Cv: 28,43%							

Em vermelho: dado espúrio

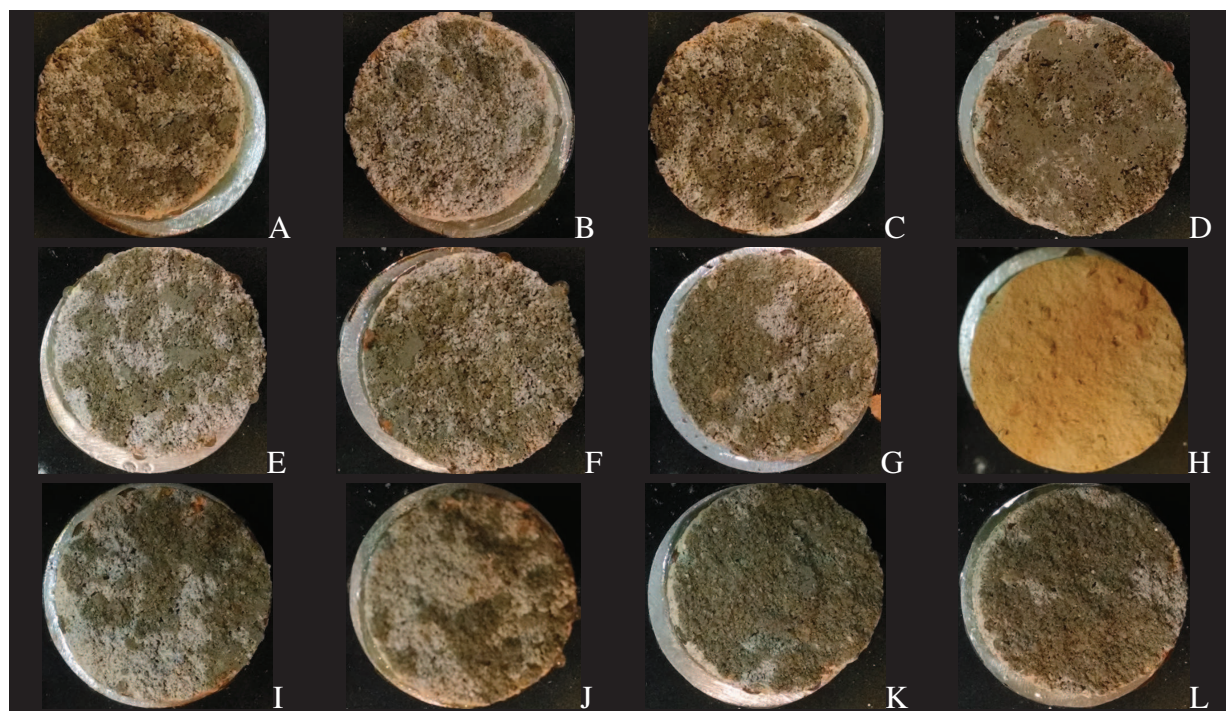


Figura B1 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de referência no chapisco.

Tabela B2 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 5% de CCA no chapisco.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
750 5	A	42,2	42,09	42,09	42,15	1395	630	0,45			10		90		
	B	42,66	42,63	41,03	41,85	1375	440	0,32		40	5		55		
	C	42,83	43,41	43,23	43,03	1454	427	0,29		50			50		
	D	43,05	42,7	42,82	42,94	1448	484	0,33	5	30	25		40		
	E	42,90	43,33	43,41	43,16	1463	1307	0,89		20	10		70		
	F	42,70	42,74	42,27	42,49	1418	533	0,38			40		60		
	G	42,35	43,14	42,33	42,34	1408	704	0,50			25		75		
	H	41,77	43,40	42,42	42,10	1392	1185	0,85			10		90		
	I	42,47	43,30	43,14	42,81	1439	1436	1,00			20		80		
	J	43,22	43,20	43,53	43,38	1478	1227	0,83					100		
	K	43,03	42,05	43,04	43,04	1455	310	0,21			25		75		
	L	43,72	43,54	43,33	43,53	1488	1253	0,84					100		
Média das formas de ruptura								1%	13%	13%	0%	73%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,53								Cv: 44,96%							

Em vermelho: dado espúrio

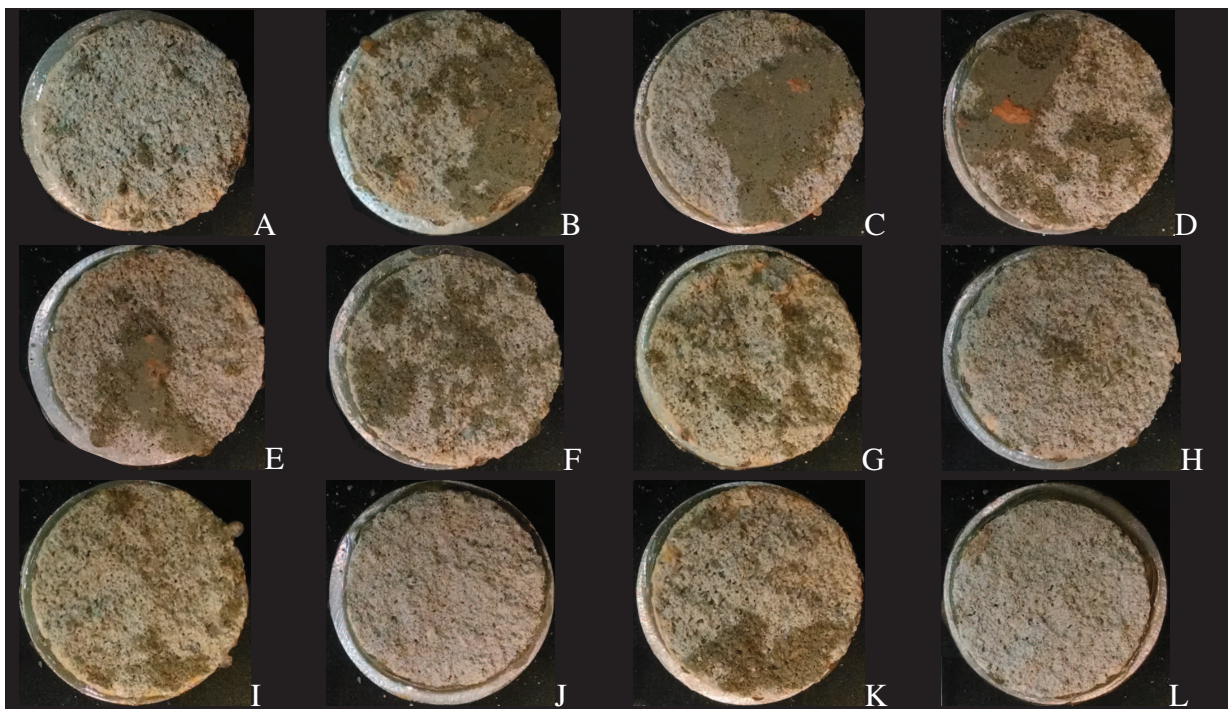


Figura B2 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 5% de CCA no chapisco.

Tabela B3 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 10% de CCA no chapisco no chapisco.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
750 10	A	43,76	44,67	44,27	44,02	1522	683	0,45	15	20	50		15		
	B	43,24	42,56	43,11	43,18	1464	325	0,22					100		
	C	43,24	42,78	44,06	43,65	1496	1191	0,80			10		90		
	D	43,24	43,6	43,17	43,21	1466	1311	0,89			10		90		
	E	43,33	42,87	42,96	43,15	1462	553	0,38			15		85		
	F	0	0	0	0,00	0	0	0			0		0		
	G	42,71	42,96	43,16	42,94	1448	502	0,35			30		70		
	H	42,54	42,18	42,86	42,70	1432	405	0,28			70		30		
	I	42,72	42,97	43,82	43,27	1470	1509	1,03			15		85		
	J	43,19	43,38	43,59	43,39	1479	1303	0,88	5	90	0		5		
	K	42,55	43,02	43,33	42,94	1448	506	0,35	5	45	25		25		
	L	42,40	42,70	42,37	42,39	1411	519	0,37		40	0		60		
Média das formas de ruptura								3%	13%	25%	0%	59%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,40								Cv: 43,56%							

Em vermelho: dado espúrio

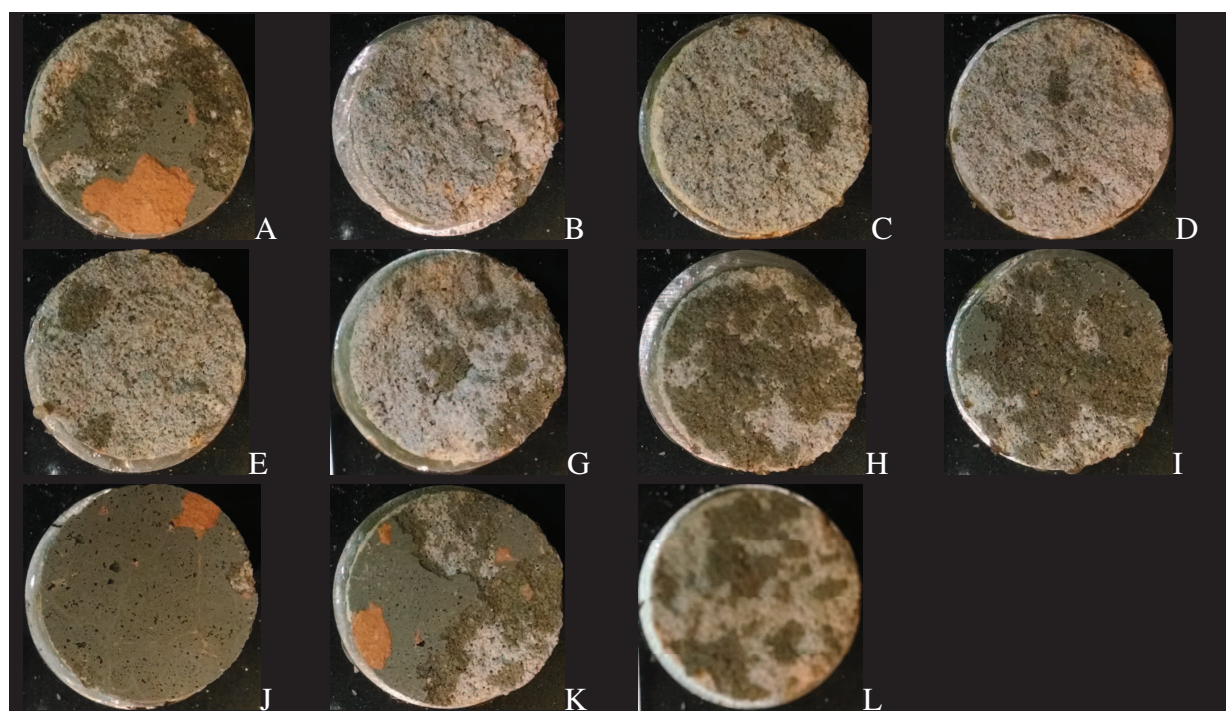


Figura B3 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 10% de CCA no chapisco no chapisco.

Tabela B4 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de referência.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
900 0	A	44,19	43,59	43,62	43,80	1507	145	0,10			10		90		
	B	43,91	43,73	44,03	43,89	1513	1191	0,79			5		95		
	C	43,9	43,36	43,05	43,44	1482	1007	0,68			10		90		
	D	43,79	43,61	43,91	43,77	1505	179	0,12					100		
	E	43,92	43,61	43,91	43,81	1508	534	0,35			5		95		
	F	41,85	42,66	42,3	42,27	1403	0	0,00					100		
	G	43,59	43,86	43,34	43,60	1493	931	0,62					100		
	H	43,96	43,6	44,17	43,91	1514	298	0,20			5		95		
	I	43,93	43,56	44,00	43,83	1509	401	0,27					100		
	J	44,04	43,97	43,63	43,88	1512	459	0,30					100		
	K	43,81	44	43,95	43,92	1515	0	0,00					100		
	L	43,05	43,93	43,54	43,51	1487	934	0,63			5	15	80		
Média das formas de ruptura								0%	0%	3%	3%	94%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,40								Cv: 47,01%							

Em vermelho: dado espúrio

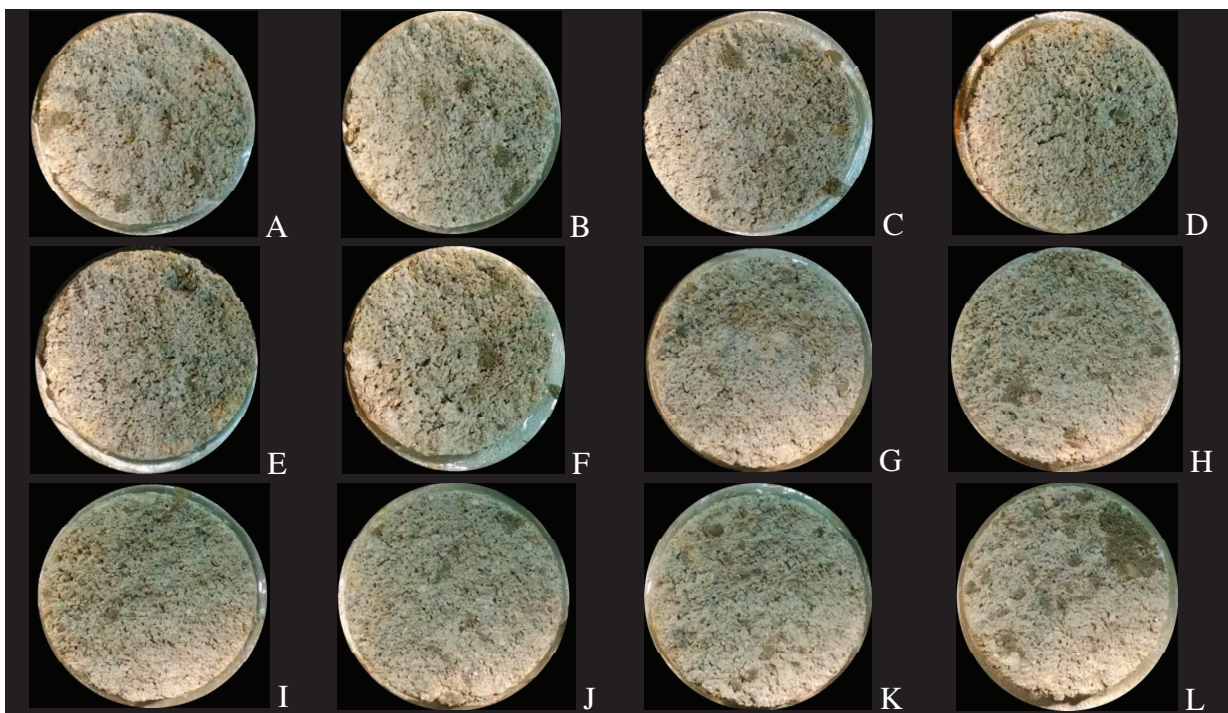


Figura B4 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de referência.

Tabela B5 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de 5% de CCA no chapisco.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
900 5	A	43,16	43,89	43,53	43,35	1476	53	0,04					100		
	B	43,95	43,68	43,82	43,89	1513	239	0,16				5	95		
	C	43,49	43,71	42,61	43,05	1456	159	0,11				5	95		
	D	43,63	43,29	43,83	43,73	1502	0	0,00					100		
	E	44,03	42,95	43,99	44,01	1521	151	0,10			5		95		
	F	43,14	43,03	43,11	43,13	1461	378	0,26					100		
	G	44,14	44,08	44,16	44,15	1531	475	0,31					100		
	H	44,01	43,93	44,15	44,08	1526	336	0,22			5		95		
	I	43,28	43,09	43,28	43,28	1471	427	0,29					100		
	J	44,04	43,99	44,46	44,25	1538	247	0,16					100		
	K	43,66	43,11	43,81	43,74	1502	280	0,19					100		
	L	43,56	43,25	43,75	43,66	1497	253	0,17					100		
Média das formas de ruptura								0%	0%	1%	1%	98%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,17								Cv: 31,09%							

Em vermelho: dado espúrio

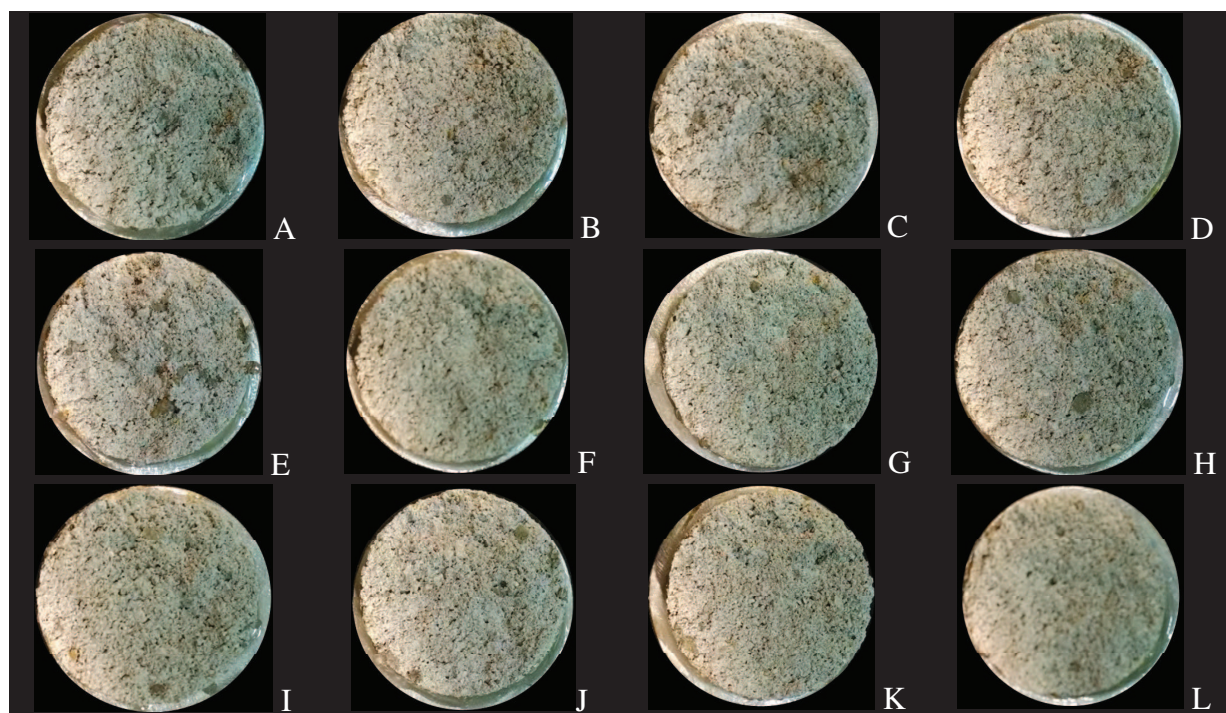


Figura B5 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de 5% de CCA no chapisco.

Tabela B6 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de 10% de CCA no chapisco.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
900 10	A	43,25	43,34	43,6	43,43	1481	272	0,18					100		
	B	44,25	42,74	43,43	43,84	1509	286	0,19					100		
	C	44,43	43,41	43,08	43,76	1504	147	0,10					100		
	D	44,17	43,91	43,84	44,01	1521	205	0,13					100		
	E	43,3	43,97	43,00	43,15	1462	305	0,21					100		
	F	43,76	43,75	43,58	43,67	1498	148	0,10					100		
	G	43,89	44,51	43,5	43,70	1500	389	0,26					100		
	H	43,45	43,65	43,79	43,62	1494	96	0,06					100		
	I	43,84	43,61	44,13	43,99	1519	456	0,30					100		
	J	43,82	43,63	43,69	43,76	1504	216	0,14					100		
	K	43,99	43,86	43,95	43,97	1518	219	0,14					100		
	L	43,37	43,02	44,16	43,77	1504	593	0,39			5		95		
Média das formas de ruptura								0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,16								Cv: 32,60%							

Em vermelho: dado espúrio

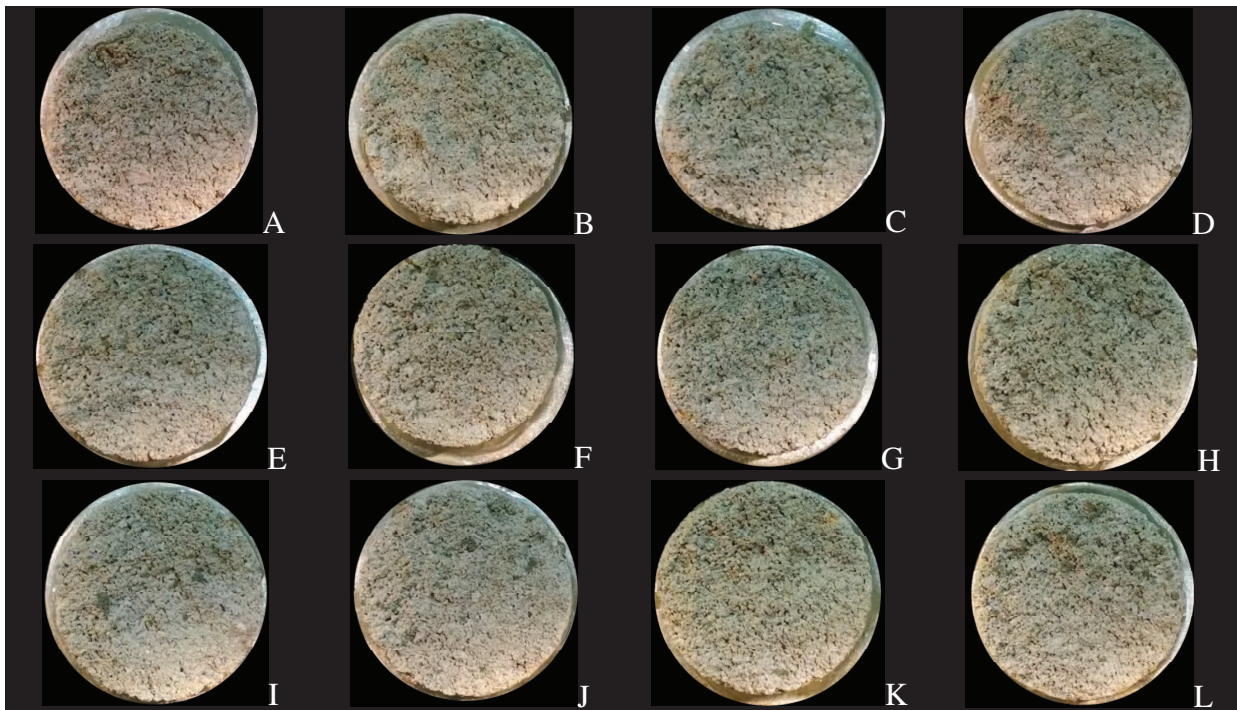


Figura B6 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 900°C e com teor de 10% de CCA no chapisco.

Tabela B7 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de referência no chapisco.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
1000 0	A	41,5	41,68	40,66	41,28	1338	152	0,11			5		95		
	B	42,24	42,53	42,87	42,55	1422	253	0,18					100		
	C	42,92	41,93	43,16	42,67	1430	423	0,30					100		
	D	43,38	43,31	42,62	43,10	1459	358	0,25					100		
	E	43,1	42,81	43,16	43,02	1454	205	0,14					100		
	F	42,99	41,9	43,02	42,64	1428	200	0,14					100		
	G	43,00	43,11	42,27	42,79	1438	241	0,17					100		
	H	41,91	42,32	42,68	42,30	1406	254	0,18					100		
	I	42,55	42,99	42,25	42,60	1425	144	0,10					100		
	J	42,64	42,38	41,86	42,29	1405	160	0,11					100		
	K	42,73	42,42	42,85	42,67	1430	235	0,16					100		
	L	41,89	42,3	42,45	42,21	1400	423	0,30			5		95		
Média das formas de ruptura								0%	0%	1%	0%	99%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,15								Cv: 27,56%							

Em vermelho: dado espúrio

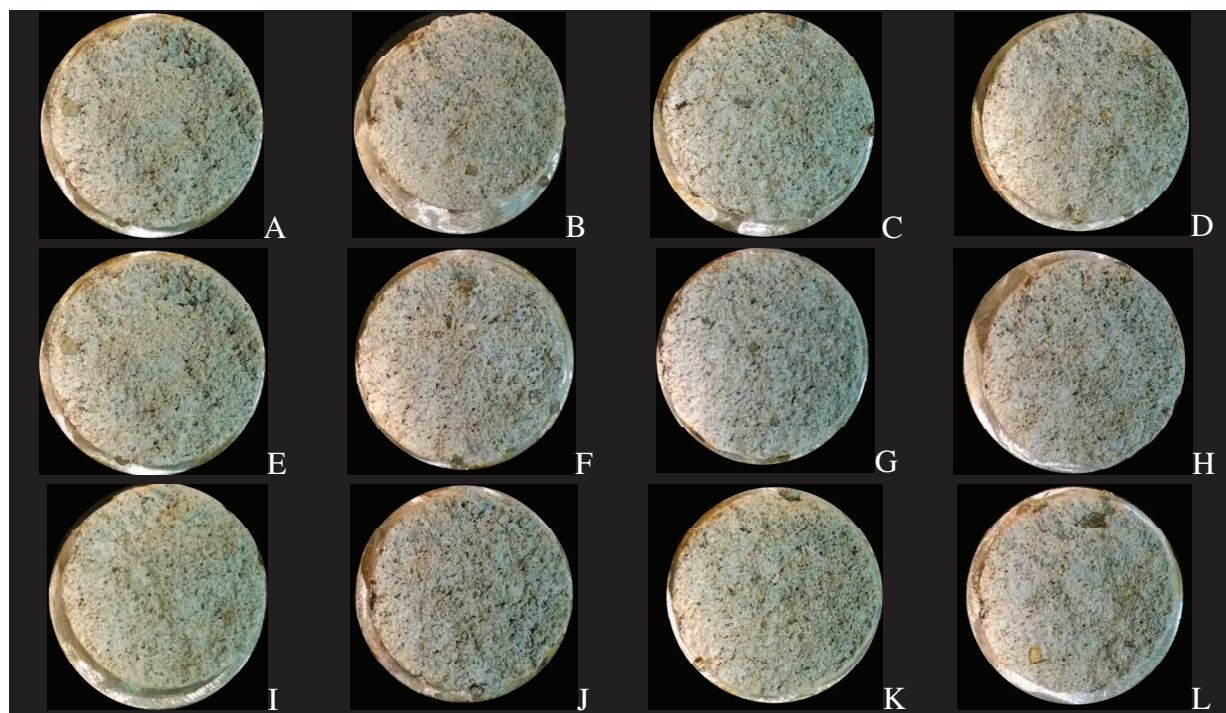


Figura B7 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de referência no chapisco.

Tabela B8 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de 5% de CCA no chapisco.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
1000 5	A	39,85	40,61	39,59	39,72	1239	370	0,30					100		
	B	40,52	41,11	40,74	40,63	1297	633	0,49					100		
	C	39,95	41,5	39,71	39,83	1246	403	0,32					100		
	D	42,00	41,67	40,33	41,17	1331	394	0,30					100		
	E	41,87	41,95	41,41	41,64	1362	544	0,40					100		
	F	40,77	41,02	41,09	40,93	1316	601	0,46					100		
	G	42,51	42,39	43,01	42,76	1436	106	0,07					100		
	H	43,05	42,64	43,19	43,12	1460	231	0,16			10		90		
	I	43,62	43,32	43,52	43,57	1491	791	0,53					100		
	J	42,84	43,36	42,92	42,88	1444	202	0,14			5		95		
	K	43,01	43,2	43,23	43,12	1460	216	0,15					100		
	L	43,27	43,54	43,61	43,44	1482	90	0,06					100		
Média das formas de ruptura								0%	0%	2%	0%	98%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,29								Cv: 47,72%							

Em vermelho: dado espúrio

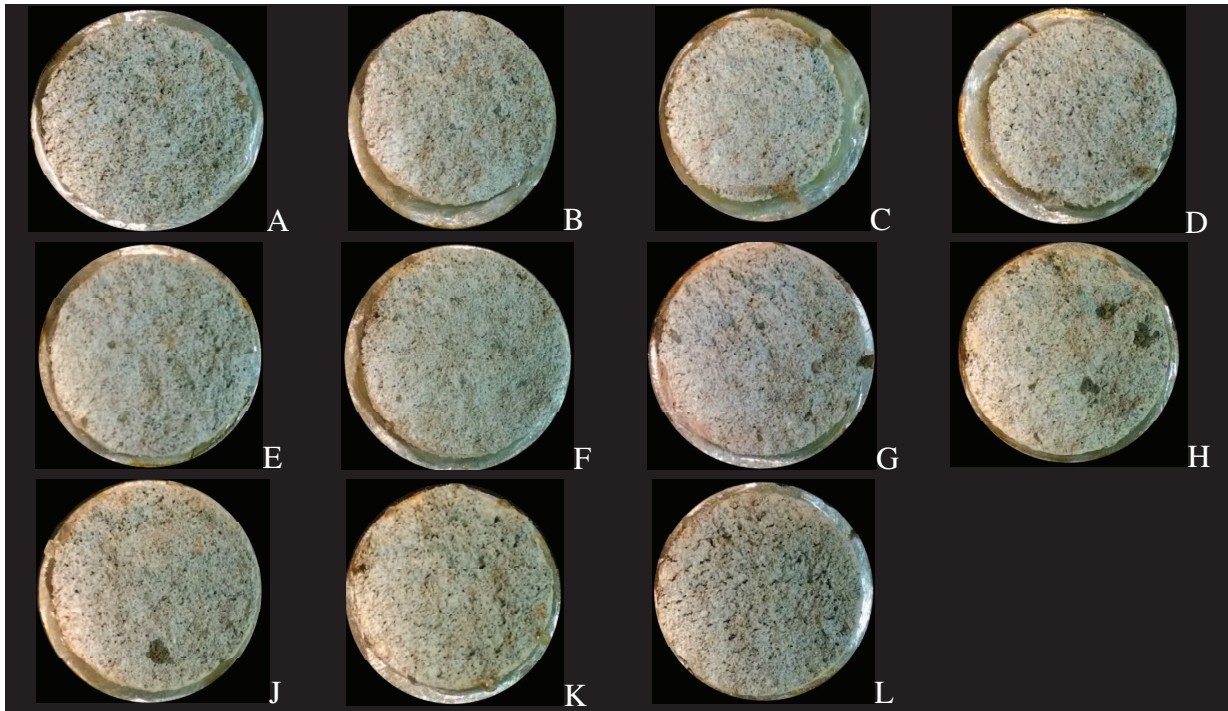


Figura B8 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de 5% de CCA no chapisco.



Tabela B9 - Resultados da resistência de aderência do conjunto, na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de 10% de CCA no chapisco.

Identificação	Diâmetro Externo 1 (mm)	Diâmetro Externo 2 (mm)	Diâmetro Externo 3 (mm)	Média do Diâmetro Externo (mm)	Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura (%)							
								Substrato	Substrato / Chapisco	Chapisco	Chapisco / Argamassa	Argamassa	Argamassa / Cola	Cola/Pastilha	
1000 10	A	42,48	41,9	41,88	42,18	1397	185	0,13					100		
	B	42,23	41,82	41,85	42,04	1388	295	0,21					100		
	C	42,58	42,36	42,88	42,73	1434	327	0,23					100		
	D	0	0	0	0	0	430	0,00					100		
	E	42,54	42,85	42,77	42,66	1429	104	0,07					100		
	F	42,61	42,05	42,7	42,66	1429	213	0,15					100		
	G	42,65	42,72	42,54	42,60	1425	310	0,22					100		
	H	42,75	43,1	43,34	43,05	1455	695	0,48					100		
	I	43,35	43,3542,71	42,76	43,06	1456	901	0,62					100		
	J	42,35	42,59	42,84	42,60	1425	561	0,39					100		
	K	42,35	42,51	43,28	42,82	1440	490	0,34					100		
	L	42,07	43,01	42,1	42,09	1391	782	0,56					100		
Média das formas de ruptura								0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	
Média (MPa) corrigida: 0,27								Cv: 45,84%							

Em vermelho: dado espúrio

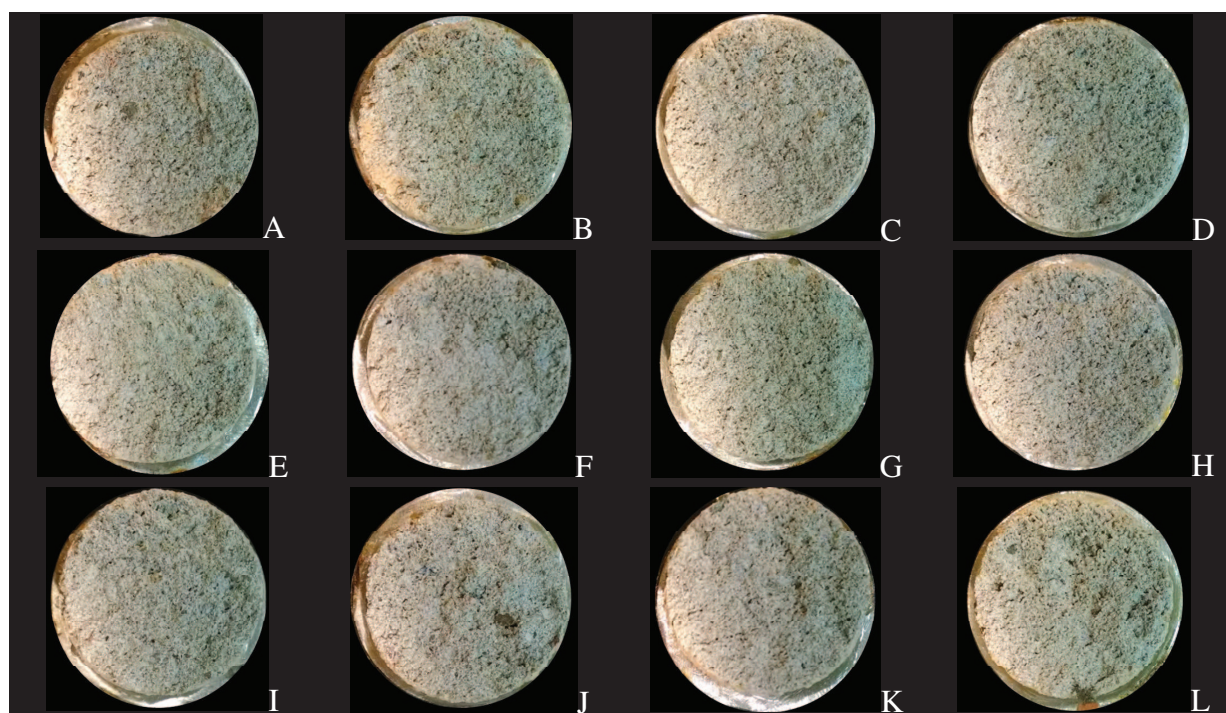


Figura B9 – Rupturas do conjunto, na cerâmica sinterizada a 1000°C e com teor de 10% de CCA no chapisco.



## APÊNDICE C



As Figuras C1, C2, C3 e C4 apresentam a relação de tendência linear do comportamento das resistências de aderência à tração frente à rugosidade superficial das cerâmicas:

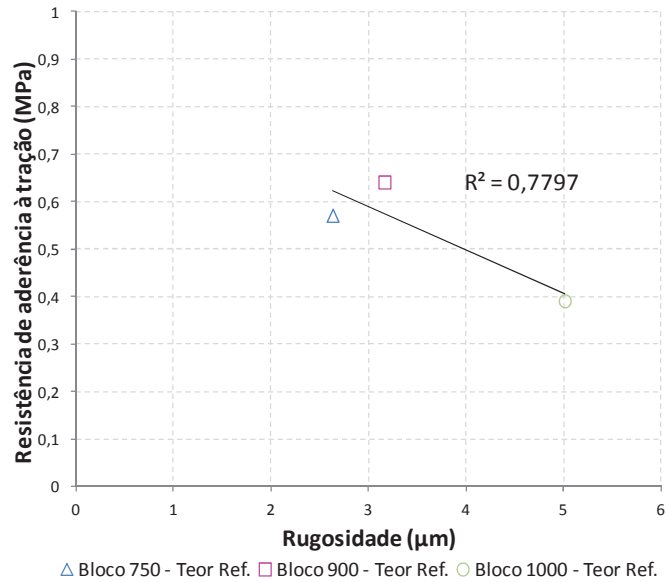


Figura C1 - Coeficiente de determinação entre aderência e rugosidade (teor Ref.).

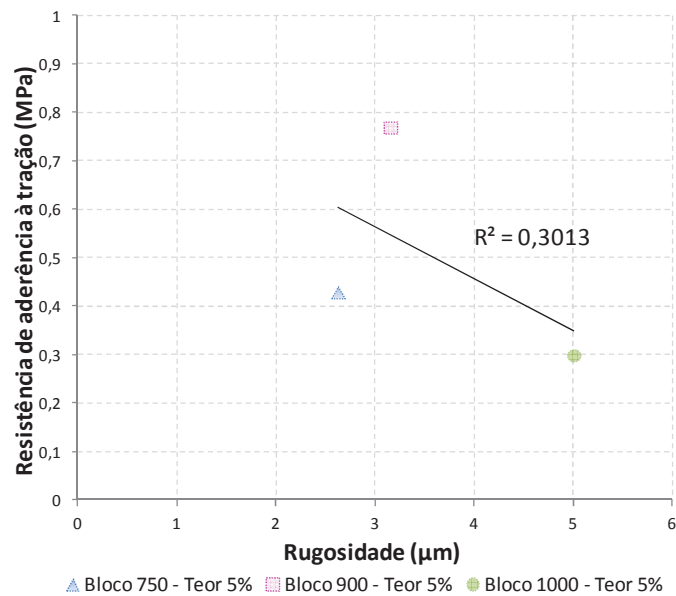


Figura C2- Coeficiente de determinação entre aderência e rugosidade (teor 5%).

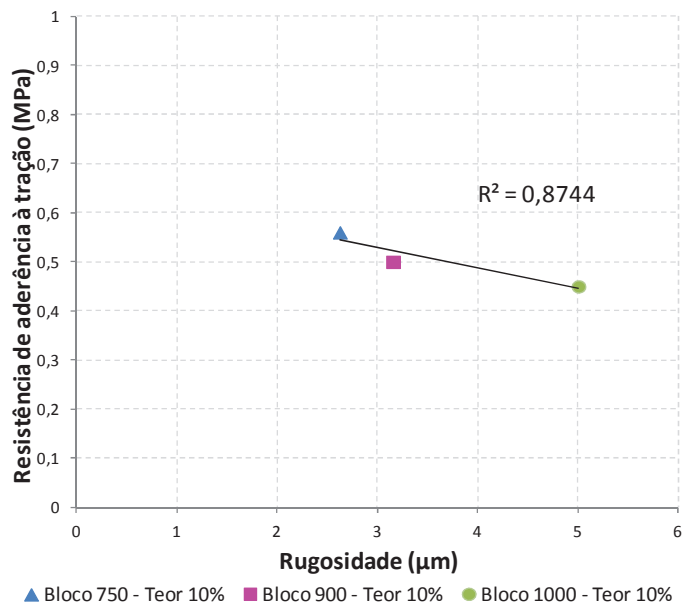


Figura C3- Coeficiente de determinação entre aderência e rugosidade (teor 10%).

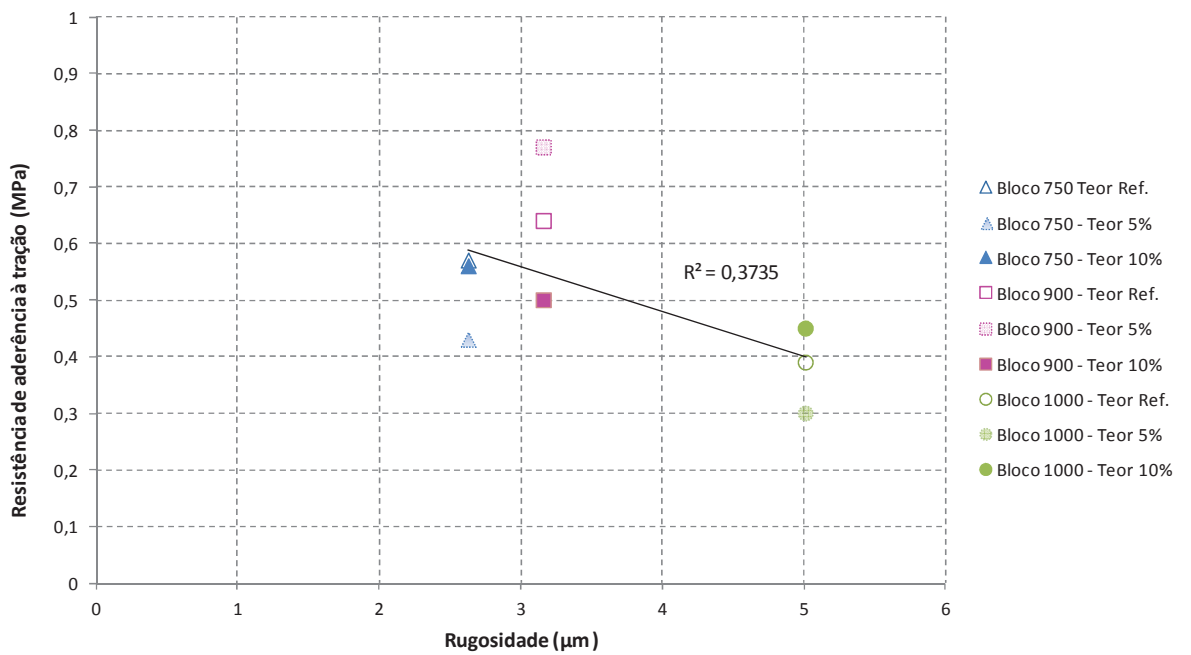


Figura C4 - Coeficiente de determinação da aderência frente à rugosidade superficial das cerâmicas com os diversos teores.

## APÊNDICE D





Tabela D1 - Resultados da resistência de aderência dos chapiscos aplicados na cerâmica sinterizada a 750°C e com teor de 5% de CCA em função do uso de PU para selamento dos cortes periféricos.

Identificação		Área Externa (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)	Média corrigida (MPa)
750 – 5 (Com uso do PU)	A	1412,76	1230	0,87	0,90	0,24	26,7	<b>0,93</b>
	C	1592,11	1702	1,07				
	E	1583,54	1528	0,96				
	H	1595,86	805	0,50				
	I	1582,01	1905	1,20				
	K	1546,39	1246	0,81				
750 – 5 (Sem uso do PU)	B	1577,24	1422	0,90	0,83	0,23	27,9	<b>0,93</b>
	D	1770,98	998	0,56				
	F	1602,54	853	0,53				
	G	1553,43	1526	0,98				
	J	1571,03	1430	0,91				
	L	1436,16	1592	1,11				

Em vermelho: dado espúrio



## APÊNDICE E



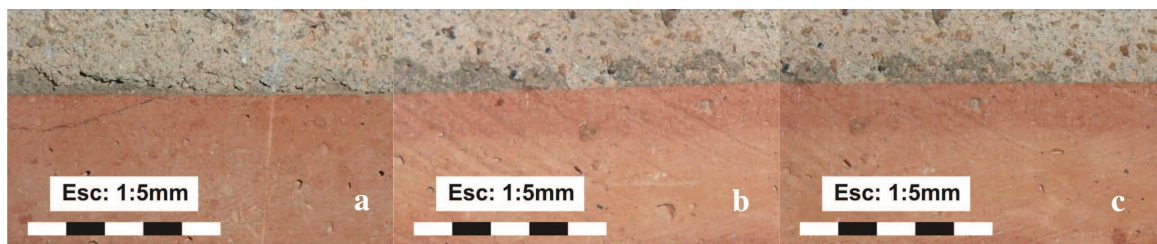


Figura E1 - Extensão de aderência nos substratos a 750°C - a) teor referência - b) teor 5% - c) teor 10.

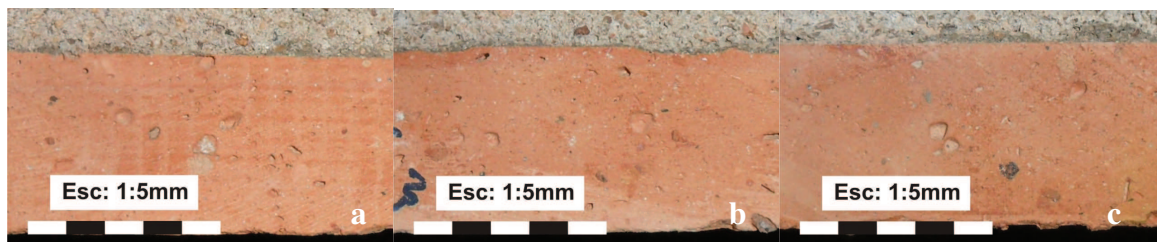


Figura E2 - Extensão de aderência nos substratos a 900°C - a) teor referência - b) teor 5% - c) teor 10.

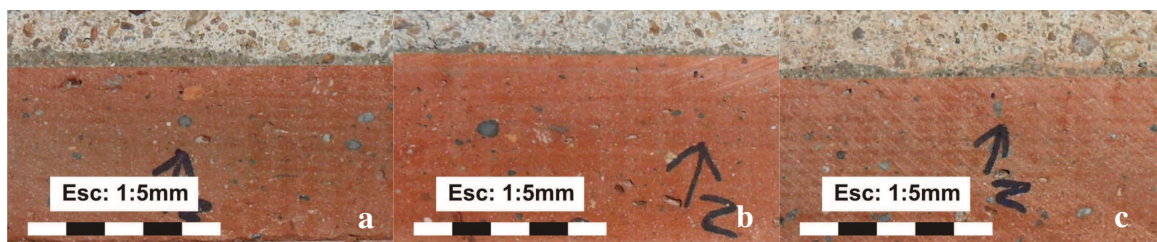


Figura E3 - Extensão de aderência nos substratos a 750°C - a) teor referência - b) teor 5% - c) teor 10%.