

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**CONTRIBUIÇÃO AOS ENSAIOS DE CHOQUE TÉRMICO  
EM REVESTIMENTOS ADERIDOS DE ARGAMASSA**

**Thaís Schmidt Fernandes**

Porto Alegre  
julho 2017

THAÍS SCHMIDT FERNANDES

**CONTRIBUIÇÃO AOS ENSAIOS DE CHOQUE TÉRMICO EM  
REVESTIMENTOS ADERIDOS DE ARGAMASSA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia

Porto Alegre  
julho 2017

**THAÍS SCHMIDT FERNANDES**

**CONTRIBUIÇÃO AOS ENSAIOS DE CHOQUE TÉRMICO EM  
REVESTIMENTOS ADERIDOS DE ARGAMASSA**

Porto Alegre, 17 de julho de 2017

Profa. Ângela Borges Masuero  
Dra. pela UFRGS  
orientador

Prof. Nilo Cesar Consoli  
Coordenador do PPGE/UFGRS

**BANCA EXAMINADORA**

**Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade de São Paulo

**Claudio de Souza Kazmierczak (Unisinos)**  
Dr. pela Universidade de São Paulo

**Fernanda Macedo Pereira (ULBRA)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aos meus pais, Dayse e Deoclides (em memória).

## **AGRADECIMENTOS**

Utilizo este espaço para agradecer e destacar todos que de alguma forma contribuíram com esta pesquisa.

A toda equipe do laboratório LEME, que cedeu seu espaço físico, tempo e disposição. Em especial, ao técnico Edgar que viabilizou esse trabalho, projetando e construindo o equipamento utilizado para os choques, o dispositivo de suporte, bem como as molduras de restrições, essa pesquisa não teria acontecido sem seu dedicado trabalho.

A professora Ângela, minha orientadora, por todo suporte e atenção nesses mais de 2 anos de estudos. Sem sua orientação o trabalho não teria atingido as metas propostas. A professora Denise, por ter lançado o questionamento que deu origem ao trabalho. Ao professor João Masuero pelo suporte e orientação na parte estatística do trabalho.

Aos laboratoristas Gilmar e Airton por todo o auxílio prestado para a execução das amostras e preparações para os ensaios. Por terem se deslocado até o Campus Vale sempre que preciso.

Aos meus chefes, Flávio e Sílvio, e colegas de trabalho que permitiram minha ausência em inúmeras ocasiões, para que eu pudesse realizar o programa experimental, sem a compreensão de vocês não teria concluído esta pesquisa.

A minha mãe que permitiu que eu me dedicasse 100% a essa dissertação, fornecendo-me todo o necessário em casa. Obrigada.

Ao Rafael, meu namorado, que me incentivou a entrar no programa de pós-graduação e sempre que possível me auxiliou, dividiu material e esclareceu dúvidas.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento.”  
*Albert Einstein*

## RESUMO

FERNANDES, T. S. Contribuição aos ensaios de choque térmico em revestimentos aderidos de argamassa: influência das dimensões e restrições de amostras. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

O desempenho é foco de diversos estudos atuais, a comunidade técnica está buscando melhorar os sistemas construtivos. Apesar de ser discutido há décadas, este tema foi recentemente revigorado pela elaboração e publicação da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013a). Este documento apresenta requisitos mínimos a serem atingidos pelas edificações, bem como metodologia para a avaliação destes parâmetros. Dentre os ensaios apresentados, consta em seu anexo E um método para avaliação de vedações verticais frente a choques térmicos. Inúmeras pesquisas adotam os choques térmicos como agente de degradação, contudo não existe um consenso quanto às condições de contorno ou mesmo as dimensões dos corpos de prova. A norma brasileira recomenda que as essas possuam 120 cm de largura e altura equivalente a 1 pé direito, entretanto em determinadas situações tais dimensões inviabilizam o programa experimental, dado a falta de equipamentos deste porte. Assim, encontram-se na literatura técnica pesquisas realizadas sobre protótipos reduzidos de sistemas de vedação. Este trabalho buscou identificar a influência das dimensões e condições de contorno dos corpos de prova nos resultados obtidos em ensaios de choques térmicos. Para tal, foram ensaiadas amostras em 3 tamanhos diferentes, as dimensões propostas pela NBR 15575 e duas variações reduzidas. Os corpos de prova reduzidos foram ensaiados livres e com restrições as dilatações. Todas as combinações foram sujeitas a 10 e 30 choques térmicos e as avaliações foram realizadas antes e após os ciclos. As variáveis de resposta adotadas foram a resistência à aderência, fissuração e permeabilidade, também foram mensuradas as variações lineares em momentos pré-determinados. Os choques térmicos não provocaram a perda da aderência, uma vez que as amostras apresentaram aderências estatisticamente iguais antes e após os ciclos, com exceção da amostra grande exposta a 30 choques, que teve sua aderência majorada. Apenas nas amostras grandes ocorreu alteração do índice de fissuras decorrente da exposição aos choques. Majoritariamente, a permeabilidade das amostras não foi alterada com a exposição aos choques, com exceção das amostras reduzidas livres expostas a 30 choques que apresentaram uma redução da absorção, indicando o fechamento dos poros.

**Palavras-chave:** desempenho, choque térmico, revestimento, dimensões, restrições.

## ABSTRACT

FERNANDES, T. S. Contribuição aos ensaios de choque térmico em revestimentos aderidos de argamassa: influência das dimensões e restrições de amostras. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Performance is the focus of many current researches, the technical community is searching to improve building systems. Despite being discussed for decades, this subject has recently been reinvigorated by the elaboration and publication of performance standard NBR 15575 (ABNT, 2013a). This document presents minimum requirements to be achieved by the buildings, as well a methodology for the evaluation of these parameters. Among the tests presented, attachment E shows a method for evaluating vertical seals against thermal shocks. Numerous researches adopt thermal shocks as a degradation agent, however, there is no consensus regarding the boundary conditions or even about the dimensions of the specimens. The Brazilian standard recommends that these specimens have at least 120 cm wide and height equivalent to room's height, however in certain situations such dimensions make the experimental program unfeasible, given the lack of equipment of this size. Thus, we find in the technical literature researches on reduced prototypes of walls. This study aimed to identify the influence of the dimensions and boundary conditions of the specimens on the results of thermal shock tests. For this, samples were tested in 3 different sizes, the dimensions proposed by NBR 15575 and two reduced variations. The reduced specimens were tested without and with dilation restrictions. All combinations were subjected to 10 and 30 thermal shocks and the evaluations were performed before and after the cycles. The tests adopted to evaluate were resistance to adhesion, cracking and permeability, and linear variations were also measured at predetermined moments. The thermal shocks did not cause the loss of adhesion, since the samples had statistically equal adhesions before and after the cycles, except for the large sample exposed to 30 shocks, which had its adherence increased. Only in large samples occurred change of cracks index from exposure to shocks. The permeability of the samples was not altered with the exposure to shocks, except for the unrestricted reduced samples exposed to 30 shocks that showed a reduction of the absorption, indicating the closure of the pores.

**Keywords:** performance, thermal shock, coating, dimensions, constraints.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Identificação das etapas do projeto de pesquisa.....	21
Figura 2 – Expansões no revestimento: (a) estado inicial; (b) efeito individual do aumento de temperatura e (c) estado final do conjunto. ....	24
Figura 3 – Trocas de calor através de paredes opacas .....	27
Figura 4 – Grau de restrição .....	30
Figura 5 – Variação das tensões segundo o módulo e espessura: (a) e (c) possuem 2,5 cm de espessura e (b) e (d) possuem 5 cm. ....	31
Figura 6 – Influência da temperatura no módulo secante da pasta e da argamassa .....	33
Figura 7 – Relação entre a umidade relativa e o coeficiente de dilatação de pasta de cimento curada normalmente .....	34
Figura 8 – Fissuras em uma argamassa exposta a 300°C: (a) fissuras tangentes e no interior do agregado e (b) fissuras radiais na pasta e tangenciais ao agregado .....	35
Figura 9 – Expansão térmica da pasta de cimento (C-500) e da argamassa (M-500), em função da temperatura .....	36
Figura 10 – Representação esquemática do comportamento da resistência mecânica em função da severidade do choque.....	37
Figura 11 – Redução da resistência à compressão da argamassa e da pasta (hcp) em função do aumento de temperatura.....	38
Figura 12 – Alteração da resistência de aderência do revestimento cerâmico em substrato de concreto e concreto celular. ....	47
Figura 13 – Aderência de ETICS após exposição a ciclos de choques térmicos e exposição de gelo e degelo: (a) sistema com lã mineral e (b) sistema com EPS .....	48
Figura 14 - Curva da temperatura pelo tempo .....	51
Figura 15 – Variáveis de controle .....	53
Figura 16 – Programação cronológica dos ensaios, evidenciando a idade dos revestimentos .	54
Figura 17 – Curvas obtidas com o Squeeze Flow .....	60
Figura 18 – Confecção das amostras: (a) assentamento das paredes com dimensões de norma e (b) amostras já assentadas .....	62
Figura 19 – Chapisco: (a) aplicação com rolo e (b) aspecto da textura final .....	62
Figura 20 – Execução do revestimento: (a) teste do equipamento e (b) execução em uma das amostras grandes .....	63
Figura 21 – Aspecto visual do revestimento acabado .....	64

Figura 22 – Execução do revestimento: (a) e (b) projeção da argamassa e (c) corpos de prova separados .....	65
Figura 23 – Sistema de restrição: (a) moldura e (b) imagem termográfica do conjunto durante o ensaio .....	67
Figura 24 – Aspecto visual do sistema de restrição: (a) corpo de prova capeado e (b) conjunto corpo de prova e restrição.....	67
Figura 25 – Instrumentação para o ensaio de choque térmico: (a) aproximação do equipamento ao corpo de prova, (b) localização dos termopares na face ensaiada e (c) termopar na face oposta.....	68
Figura 26 – Detalhes do procedimento para o choque térmico: (a) controle do termopar regulador, (b) indicações das temperaturas e (c) aberturas para direcionamento de fluxo de calor .....	69
Figura 27 – Registros com a câmera termográfica: (a) fluxo de calor, (b) fuga de calor e (c) distribuição do calor na face oposta .....	70
Figura 28 – Dispositivo para acoplar as amostras .....	71
Figura 29 – Dispositivo para choque das amostras menores: (a) vista frontal e (b) lado oposto ao choque.....	71
Figura 30 – Imagens termográficas: (a) visão geral da parte de trás, (b) amostras no centro e (c) amostras na parte de baixo .....	72
Figura 31 – Curva teórica de temperatura x tempo de 1 choque .....	73
Figura 32 – Argamassa de recomposição: a) incremento do módulo de elasticidade nos primeiros dias e b) módulo de elasticidade dos traços com 120 horas.....	75
Figura 33 – Pontos de extração nas amostras grandes: (a) estado inicial e (b) estado final, depois dos choques .....	76
Figura 34 – Pontos de extração nas amostras reduzidas: (a) estado inicial, (b) detalhe de um arrancamento e (c) estado final, depois dos choques.....	77
Figura 35 – Análise de fissuras: (a) fissuras estado inicial de uma amostra grande, (b) fissuras iniciais em amostra intermediária e (c) fissuras iniciais em amostra pequena.....	78
Figura 36 – Ensaio de permeabilidade: (a) inicial da amostra grande, (b) cachimbo utilizado e (c) 2 primeiros pontos da amostra intermediária .....	79
Figura 37 – Posicionamento das pastilhas termo fixas: (a) na amostra grande e (b) nas amostras reduzidas.....	80

Figura 38 – Tipos de rupturas ocorridas: (a) na argamassa e chapisco, (b) predominantemente na argamassa e (c) na argamassa, chapisco e interface do chapisco com o substrato cerâmico .....	82
Figura 39– Comparação das médias da resistência de aderência à tração aos 28 dias, antes da exposição aos choques térmicos .....	84
Figura 40 – Desvios residuais do ensaio de resistência de aderência à tração de todas as combinações .....	85
Figura 41 – Desvios residuais do ensaio de resistência de aderência à tração para os diferentes corpos de prova.....	86
Figura 42 – Desvios residuais do ensaio de aderência para o fator controlável número de choques .....	86
Figura 43 – Extração com destacamento do bloco .....	90
Figura 44 – Comparação da média da resistência de aderência inicial das amostras pequenas e intermediárias com as médias obtidas após a incidência de 10 choques.....	91
Figura 45 – Comparação da média da aderência inicial das amostras pequenas e intermediárias com as médias obtidas após a incidência de 30 choques.....	98
Figura 46 – Comparação das médias da resistência de aderência à tração obtidas para 10 e 30 choques .....	99
Figura 47 – Comparação da média da resistência de aderência à tração para o fator A (dimensões e condições de contorno).....	100
Figura 48 – Prolongamento de fissura após os choques: (a) GL10a e (b) GL30 .....	105
Figura 49– Comparação do índice de fissuras antes e após os choques térmicos .....	106
Figura 50 – Água absorvida, antes e após os choques térmicos, nas amostras grandes: (a) GL10b e (b) GL30 .....	108
Figura 51 – Água absorvida nas amostras reduzidas: (a) amostras reduzidas expostas a 10 choques e o seu estado inicial e (b) amostras reduzidas expostas a 30 choques e o seu estado inicial .....	109
Figura 52 – Variação linear observada: (a) amostras grandes e (b) amostras reduzidas.....	111
Figura 53 – Amostras de referência dentro da estufa para cura à temperatura de 80°C.....	130
Figura 54 – Tempo e temperatura adotados para o procedimento de cura: (a) simulação de 30 choques e (b) simulação de 10 choques.....	130

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Síntese das características das normas que utilizam choque térmico .....	42
Quadro 2 – Síntese das características dos trabalhos nacionais consultados .....	44
Quadro 3 – Nomenclatura das amostras .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização do cimento CPIV-32 .....	55
Tabela 2 – Composição química do cimento.....	56
Tabela 3 – Composição química da cal hidráulica .....	56
Tabela 4 – Composição granulométrica e módulo de finura da areia .....	57
Tabela 5 – Caracterização da argamassa de assentamento aos 28 dias .....	58
Tabela 6 – Caracterização da argamassa de chapisco aos 28 dias.....	59
Tabela 7 – Caracterização da argamassa de revestimento aos 28 dias .....	59
Tabela 8 – Caracterização em estado fresco na argamassa reproduzida .....	60
Tabela 9 – Área da temperatura pelo tempo para as amostras grandes .....	73
Tabela 10 – Área da temperatura pelo tempo para as amostras reduzidas .....	74
Tabela 11 – Aderência das amostras grandes livres antes dos choques, aos 28 dias .....	82
Tabela 12 – Resistência da aderência à tração inicial das amostras pequenas e intermediárias do lote 1, aos 28 dias de idade da argamassa .....	83
Tabela 13 – Resistência da aderência à tração inicial das amostras pequenas e intermediárias do lote 2, aos 28 dias de idade da argamassa .....	83
Tabela 14 – Análise de variância da resistência de aderência das amostras aos 28 dias, antes da exposição aos choques térmicos .....	84
Tabela 15 – Valores da resistência de aderência à tração da GL10b, após os choques aos 40 dias.....	87
Tabela 16 – Análise de variância da aderência da amostra GL10b antes e após a exposição aos choques térmicos .....	88
Tabela 17 – Valores de resistência de aderência à tração das amostras intermediárias, após os choques térmicos, aos 40 dias.....	88
Tabela 18 – Valores da resistência de aderência à tração das amostras pequenas, após os choques térmicos, aos 40 dias.....	89
Tabela 19 – Análise da variância das amostras reduzidas expostas a 10 choques com seu estado inicial .....	90
Tabela 20 – Valores da resistência de aderência à tração da amostra GL30, após os choques térmicos, aos 40 dias.....	92
Tabela 21 – Características e resultados para a resistência de aderência observados em outras pesquisas.....	94

Tabela 22 – Valores da resistência de aderência à tração das amostras intermediárias, após os 30 choques térmicos .....	96
Tabela 23 – Valores da resistência de aderência à tração das amostras pequenas, após os 30 choques térmicos .....	97
Tabela 24 – Análise da variância das amostras reduzidas expostas a 30 choques com seu estado inicial .....	98
Tabela 25 – ANOVA das variáveis controláveis nos resultados da resistência de aderência à tração .....	100
Tabela 26 – Análise múltipla de médias da resistência de aderência à tração com o fator B fixado em 30 choques .....	102
Tabela 27 – Análise múltipla de médias da resistência de aderência à tração com o fator A fixado .....	102
Tabela 28 – Análise de variância das amostras reduzidas para a resistência de aderência após os choques térmicos.....	103
Tabela 29 – Tabela resumo da comparação múltipla de médias realizadas para o fator controlável B (número de choques).....	104
Tabela 30 – Índice de fissuras antes dos choques térmicos, aos 28 dias.....	105
Tabela 31 – Valores de resistência de aderência à tração das amostras de referência .....	131
Tabela 32 – ANOVA da resistência de aderência à tração das amostras de referência .....	132
Tabela 33 – Comparação múltipla de médias das amostras de referência .....	132
Tabela 34 – Resistência de aderência majorada pelo fator encontrado nas amostras de referência .....	132
Tabela 35 – ANOVA da resistência de aderência à tração da amostra GL10b com o estado inicial majorado e o resultado após os 10 choques.....	133
Tabela 36 – ANOVA da resistência de aderência à tração das amostras PR10, PL10, IR10 e IL10 com o estado inicial majorado e os resultados após os 10 choques.....	133
Tabela 37 – ANOVA da resistência de aderência à tração da amostra GL30 com o estado inicial majorado e o resultado após os 30 choques.....	133
Tabela 38 – ANOVA da resistência de aderência à tração das amostras PR30, PL30, IR30 e IL30 com o estado inicial majorado e os resultados após os 30 choques.....	134
Tabela 39 – Comparação de médias entre as amostras pequenas e intermediárias expostas a 30 choques com seu estado inicial.....	134

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO.....	18
1.2 OBJETIVOS .....	20
1.3 LIMITAÇÕES .....	20
1.4 DELINEAMENTO .....	20
<b>2 SOLICITAÇÕES TÉRMICAS NOS REVESTIMENTOS .....</b>	<b>22</b>
2.1 TENSÕES TÉRMICAS.....	22
2.2 GRADIENTE TÉRMICO.....	26
2.3 FATORES RELACIONADOS ÀS TENSÕES TÉRMICAS.....	28
2.3.1 Grau de restrição .....	29
2.3.2 Módulo de elasticidade.....	30
2.3.3 Coeficiente de dilatação .....	33
2.3.4 Resistência mecânica.....	36
<b>3 CHOQUE TÉRMICO COMO METODOLOGIA DE ENSAIO .....</b>	<b>39</b>
3.1 NORMAS QUE EMPREGAM CHOQUE TÉRMICO.....	41
3.2 TRABALHOS COM CHOQUE TÉRMICO EM REVESTIMENTO .....	43
3.3 CURA TÉRMICA DEVIDO AO CALOR DOS CHOQUES TÉRMICOS.....	49
<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>52</b>
4.1 MATERIAIS.....	54
4.1.1 Cimento .....	55
4.1.2 Cal Hidráulica .....	56
4.1.3 Areia.....	56
4.1.4 Blocos Cerâmicos.....	57
4.1.5 Argamassas.....	57
4.1.5.1 Argamassa de Assentamento.....	58
4.1.5.2 Argamassa de Chapisco.....	58
4.1.5.3 Argamassa de Revestimento.....	59
4.2 METODOLOGIA .....	61
4.2.1 Confecção das Amostras .....	61
4.2.1.1 Assentamento dos blocos.....	61
4.2.1.2 Aplicação de chapisco nos protótipos.....	62
4.2.1.3 Execução do revestimento de argamassa.....	63

4.2.2 Restrições às dilatações .....	66
4.2.3 Ensaio de Choque Térmico .....	68
4.2.4 Monitoramento da temperatura versus o tempo .....	72
4.2.5 Variáveis de Resposta .....	74
4.2.5.1 Análise da resistência de aderência à tração.....	74
4.2.5.2 Análise de fissuras.....	77
4.2.5.3 Permeabilidade.....	78
4.2.4.4 Mensuração das variações lineares do revestimento.....	79
<b>5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>81</b>
5.1 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO .....	81
5.1.1 Resistência de aderência à tração inicial .....	81
5.1.2 Resistência de aderência à tração após os choques térmicos .....	84
5.1.2.1 Análise de resíduos.....	85
5.1.2.2 Apresentação da resistência de aderência à tração após 10 choques térmicos e comparação com o estado inicial.....	87
5.1.2.3 Apresentação da resistência de aderência à tração após 30 choques térmicos e comparação com o estado inicial.....	91
5.1.2.4 Análise comparativa entre a exposição a 10 e 30 choques.....	98
5.1.2.5 Análise estatística apenas das amostras reduzidas.....	102
5.2 ANÁLISE DE FISSURAS .....	104
5.3 PERMEABILIDADE .....	107
5.4 DILATAÇÕES .....	110
5.5 RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DE RESPOSTA.....	112
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>115</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	115
6.2 SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS.....	116
APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS .....	126
APÊNDICE B – AMOSTRAS DE REFERÊNCIA .....	128
APÊNDICE C – LEITURAS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE.....	135
ANEXO A – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO CIMENTO: CPIV.....	143
ANEXO B – ÁREA SUPERFICIAL DOS AGLOMERANTES: CPIV E CAL HIDRÁULICA.....	146





## 1 INTRODUÇÃO

O desempenho das edificações é um tema recorrente nos estudos e pesquisas sobre a construção civil. A comunidade técnica está empenhando-se para atingir um desempenho mínimo nas novas construções, para garantir a satisfação e segurança dos usuários. Apesar de ser objeto de pesquisa já há algumas décadas, no Brasil, este tema foi fortalecido recentemente pela elaboração e publicação da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013a). Essa norma resguarda o usuário, na medida em que exige que sejam construídas moradias com técnicas e sistemas eficientes. Portanto, as novas edificações precisam atingir ao menos os requisitos mínimos estabelecidos, independentemente do seu padrão. A referida norma também determina que os sistemas que compõem as construções mantenham suas propriedades por determinado período, ou seja, que apresentem uma durabilidade satisfatória.

Para que se estabeleçam critérios mínimos, são necessários métodos para mensurá-los. É preciso quantificar, além do desempenho inicial dos sistemas das edificações, a variação de suas propriedades ao longo do tempo. Tendo em vista que esses sistemas somente devem ser especificados para a composição de uma construção, após terem seu desempenho e durabilidade comprovados (JELLE, 2012). Existem diferentes abordagens para identificar as características e propriedades necessárias para que determinado sistema apresente um desempenho satisfatório. Uma dessas abordagens são os ensaios laboratoriais que expõem amostras do sistema a condições severas, visando identificar possíveis falhas nos elementos.

John e Sato (2006) advertem que os ensaios de durabilidade precisam representar fielmente as condições reais de uso. Segundo o guia GD 003 (EOTA, 1999), para que o experimento seja fiel às condições de uso, é necessário compreender os agentes de deterioração e as propriedades do material que influenciam no desempenho. Daniotti e Cecconi (2010) apontam, no relatório W080 da CIB, que algumas das principais questões das pesquisas são: de que maneira as condições de utilização, o envelhecimento natural, podem estar relacionadas com a exposição acelerada em laboratório e quais são os principais aspectos que influenciam a confiabilidade da avaliação do desempenho ao longo do tempo e, portanto, a aplicação de modelos de previsão da vida útil desses sistemas. Para John e Sato (2006), é

essencial conhecer o uso final do elemento ensaiado, pois durante os ensaios é preciso priorizar as propriedades e características que serão de fato solicitadas na situação real.

Jelle (2012) aponta que após a validação dos procedimentos, os ensaios de envelhecimento acelerado possivelmente compensem o investimento financeiro, pois permitem a aprovação de novas tecnologias mais rapidamente. Para que ocorra essa validação, muitas vezes é necessário adotar um processo iterativo. Após os estudos iniciais de solicitações e condições de contorno, são realizadas comparações entre o comportamento em situação real e os ensaios acelerados. Quando o comportamento é similar em ambos os casos, pode-se considerar o experimento laboratorial válido, caso contrário retorna-se a fase de estudos para reformular os procedimentos propostos (MASTERS E BRANDT, 1989; EOTA, 1999; DANIOTTI E CECCONI, 2010).

As solicitações as quais cada sistema construtivo é exposto variam em cada caso, em virtude das condições climáticas do local, uso da edificação, entre outros. No caso de revestimentos, principalmente os compostos por argamassa, há uma vasta literatura indicando os possíveis mecanismos de degradação e consequentes manifestações patológicas (FIORITO, 1994; CAMPANTE E SABBATINI, 2001; CEOTTO et al., 2005). Esses agentes de degradação podem ser classificados quanto sua natureza como: biológicos, mecânicos, ação da água, ação do homem, entre outros, segundo a ISO 15686-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2012). Esquivel e Barros (2009) afirmam que as solicitações costumam ocorrer de forma simultânea sobre os revestimentos, gerando efeitos combinados.

Um dos principais agentes de degradação mecânica dos revestimentos de base cimentícia é a variação de temperatura. Esse fenômeno pode acarretar fortes prejuízos nestes elementos, devido às tensões geradas, nomeadas por tensões térmicas. Kingery (1955) classifica as tensões térmicas de maneira abrangente, como todas as tensões provenientes de gradientes térmicos, ou seja, provocadas pela diferença de temperatura dentro do mesmo material ou sistema. Embora, mesmo sem gradientes de temperatura possam ocorrer tensões térmicas, em sistemas cujos componentes possuam diferentes coeficientes de dilatação ou que as variações dimensionais estejam impedidas.

Para cada utilização de um sistema, um método próprio de avaliação do desempenho deveria ser desenvolvido, uma vez que as condições de contorno são diferentes. Contudo, estão

disponíveis em normas nacionais e internacionais procedimentos para a avaliação da durabilidade de diversos componentes construtivos. Por exemplo, a norma de desempenho brasileira traz, além dos requisitos mínimos, alguns métodos que visam avaliar o desempenho dos sistemas de edificações. Na quarta parte desta norma, é proposto um ensaio para identificar o comportamento de paredes de vedação frente a variações térmicas, de maneira similar ao proposto pela EN 13687-2 (EUROPEAN STANDARD, 2002), essa para a compatibilização térmica de concretos e argamassas de recuperação.

Tal metodologia foi reproduzida em diversas pesquisas pelo país. Entretanto, apesar de serem seguidas as diretrizes contidas na norma, muitos estudos optam por amostras com dimensões reduzidas, no intuito de facilitar o procedimento de ensaio. Nesta pesquisa, propõe-se identificar uma possível influência da variação nas dimensões das amostras, sobre as propriedades de revestimentos expostos a choques térmicos. Para tal, trabalhou-se com amostras com as dimensões propostas na norma brasileira e dois tamanhos reduzidos, que foram expostas a 2 níveis de ciclos. Também foi analisada a influência da condição de contorno dos corpos de prova menores durante o choque térmico, sendo esses ensaiados livres e restringidos.

## 1.1 JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO

A proposta desta pesquisa surgiu da revisão bibliográfica sobre métodos de avaliação da degradação de revestimentos de argamassa. Nesta fase, identificou-se o choque térmico como principal agente de deterioração adotado nos ensaios. No entanto, questionou-se se as condições dos ensaios reproduziam a situação real em uso, principalmente em relação às tensões geradas nos revestimentos devido à variação de temperatura.

Usualmente adotam-se amostras com pequenas dimensões nos ensaios de envelhecimento acelerado e de desempenho. As câmaras de envelhecimento acelerado, utilizadas em pesquisas sobre a vida útil, limitam as dimensões das amostras. O relatório TR010 (EOTA, 2004) aponta que as dimensões das amostras devem ser determinadas pelo espaço disponível no equipamento de ensaio. Quintela (2006), que empregou câmara de envelhecimento, adotou corpos de prova de 30x40cm de um sistema de monocamada. Longhi (2012) utilizou amostras de 90x10cm para analisar o envelhecimento de diferentes revestimentos, visto que estas eram as dimensões necessárias para o acondicionamento na câmara disponível. Mesmo

trabalhos que não possuem limitações das dimensões utilizam amostras com medidas inferiores à situação real de uso. Esquivel (2009) expôs amostras de revestimento de 30x40cm a variações bruscas de temperaturas, através de um painel radiante. Sentena (2015) adotou corpos de prova ainda menores, com 29x19 cm.

As dimensões reduzidas podem distorcer os resultados, quando as tensões geradas devido às dilatações térmicas são um fator determinante. Apesar de alguns métodos desprezarem as variações lineares no cálculo das tensões térmicas, como o apresentado por Fiorito (1994), em fachadas com grandes panos de revestimentos essas dilatações podem ser significativas. Deste modo, amostras pequenas com livre movimentação podem acarretar em tensões inferiores às ocorridas na situação real, mesmo que a temperatura adotada no ensaio atinja os mesmos níveis identificados em campo.

Algumas pesquisas já demonstraram considerar as condições de contorno dos revestimentos, buscando situação equivalente ou próxima à real. Nos estudos baseados em simulações computacionais, é comum inserir contornos indeformáveis aos modelos, para desta forma simular as restrições ocorridas nas fachadas. Esquivel (2009), que realizou uma simulação antes de iniciar o programa experimental, definiu as bordas do substrato de seu modelo como impedidas de movimentar-se. Barbosa (2013, p. 34) adotou um modelo com áreas laterais que simulam a continuidade do revestimento, conforme coloca “Essas regiões equivalentes de comprimento reduzido devem reproduzir os deslocamentos que a fachada de comprimento normal reproduziria.”. Este mesmo modelo já havia sido utilizado por Uchôa (2007).

No campo experimental, impor tais condições de contorno não é tão simples, pois as amostras têm de possuir grandes dimensões, para simular as condições reais. Assim, uma alternativa é a construção de pórticos ou molduras que restrinjam as dilatações dos corpos de prova. Oliveira et al. (2014), buscando avaliar as condições de contorno, ensaiaram amostras em 2 tamanhos distintos e empregaram elementos laterais, de madeira e aço, como barreira às dilatações. Já Fontenelle (2012), para limitar a movimentação dos corpos de prova, confinou-os em pórticos de concreto armado.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho é analisar a influência de sucessivos choques térmicos em características de corpos de prova com diferentes dimensões, em dois tempos de exposição, e em duas condições de contorno. Os objetivos específicos são descritos nos itens abaixo:

- a) avaliação da influência dos choques térmicos na resistência de aderência por tração, nas diferentes combinações;
- b) avaliação da influência dos choques térmicos na fissuração do revestimento, nas diferentes combinações;
- c) análise da influência dos choques térmicos na permeabilidade do revestimento, nas diferentes combinações;
- d) influência das restrições das amostras nas dilatações em determinados momentos do ensaio.

## 1.3 LIMITAÇÕES

Destacam-se as seguintes limitações do trabalho:

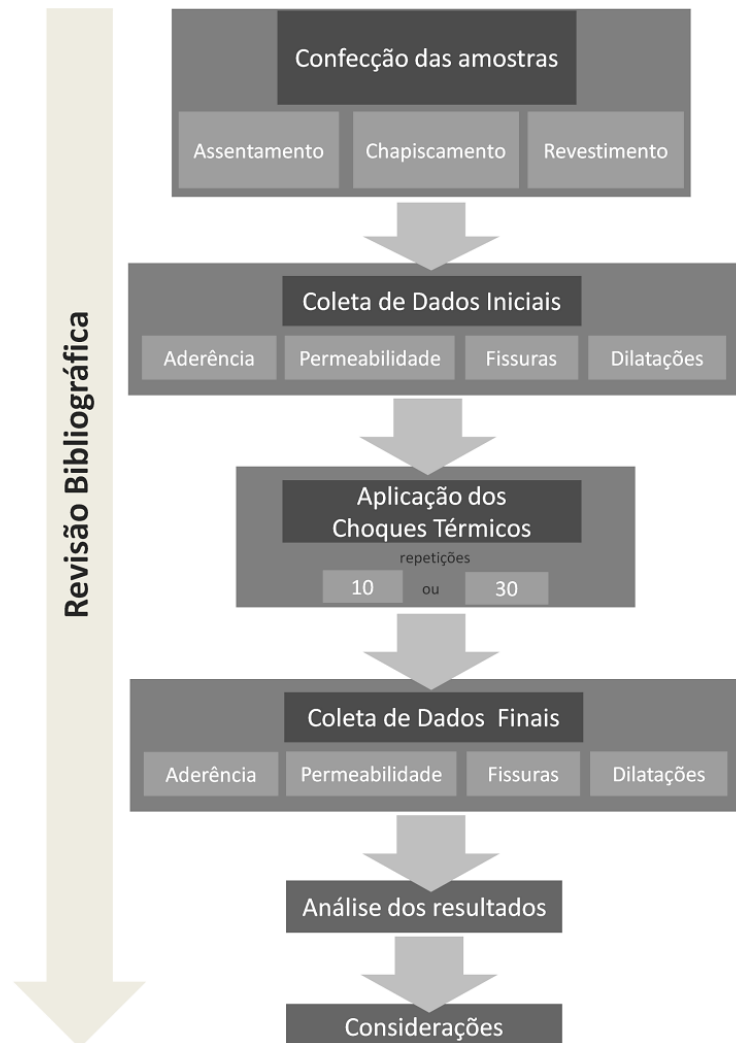
- a) a utilização de um único sistema de revestimento como amostra. Esse sistema é composto por um substrato de blocos cerâmicos, chapisco industrializado aplicado com rolo e revestimento de argamassa dosada em laboratório, com traço 1:1:6 (cimento: cal hidráulica: areia, em massa);
- b) a utilização de um único tempo de cura do revestimento, onde as reações de hidratação não estavam finalizadas;
- c) a utilização de apenas 1 tipo de restrição, essa capaz apenas de impedir apenas as dilatações, sem efeito nas restrições.

## 1.4 DELINEAMENTO

A pesquisa será desenvolvida dentro das etapas evidenciadas pela Figura 1. A consulta à bibliografia disponível aconteceu durante todo o trabalho. Algumas etapas foram iterativas, a

coleta de dados, por exemplo, ocorre antes e após os choques térmicos. A fase de choques térmicos foi repetida diversas vezes, visto que a máquina de ensaio comporta um número limitado de amostras.

Figura 1 – Identificação das etapas do projeto de pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

## 2 SOLICITAÇÕES TÉRMICAS NOS REVESTIMENTOS

Os revestimentos argamassados estão sujeitos a tensões desde as primeiras idades. Quando ainda em estado fresco e lançada sobre o substrato, a argamassa de revestimento suporta as tensões de cisalhamento provocadas pelo seu próprio peso. Durante o processo de secagem destas misturas, ocorre uma retração devido à perda de umidade da massa e a hidratação do aglomerante. Esta variação volumétrica gera tensões internas no revestimento, que são agravadas pela restrição imposta pela aderência entre o revestimento e o substrato (ESQUIVEL, 2009).

No estado endurecido, os revestimentos continuam a sofrer solicitações. Fiorito (1994) discorre sobre diversas causas para o surgimento de tensões, por exemplo, as falhas construtivas que geram deformações e sobrecargas na estrutura de base do revestimento e impactos de cargas externas. Ignatiev e Chartterji (1992) afirmam que as tensões nos revestimentos são influenciadas pelo seu módulo de elasticidade, geralmente inferior ao módulo do substrato, pela espessura da camada de argamassa e pelo nível de fissuração devido à retração por secagem que o mesmo apresenta. Uma importante solicitação nos revestimentos são as variações de temperatura, que provocam tensões graças às variações volumétricas geradas.

O item 2.1 deste capítulo aborda as equações básicas que regem as tensões térmicas. No item 2.2, discute-se o gradiente térmico em vedações verticais externas, onde apontam-se características que podem influenciar a variação de temperatura. O item 2.3 traz os principais fatores que influenciam as tensões térmicas, tais como: grau de restrição; módulo de elasticidade; coeficiente de dilatação e resistência mecânica do material.

### 2.1 TENSÕES TÉRMICAS

Quando ocorre um incremento na temperatura de um material, esse sofre uma expansão, gerando uma variação linear, que é proporcional ao seu coeficiente de dilatação térmica linear ( $\alpha$ ). Esse comportamento é explicado por Fiorito (1994, p. 81) através da equação 1. Para a variação volumétrica, utiliza-se o coeficiente  $\gamma$ , que é igual a 3 vezes o coeficiente  $\alpha$ . Tais



alterações dimensionais podem ocasionar tensões, quando há restrições a variação de volume. Essas tensões são denominadas tensões térmicas (KINGERY, 1955).

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{Equação (1)}$$

Onde,

$\Delta L$  = variação linear;

$L_0$  = comprimento inicial;

$\alpha$  = coeficiente de dilatação linear;

$\Delta T$  = variação de temperatura.

Fiorito (1994) desenvolve, para uma barra de material homogêneo e engastada em uma das extremidades, uma equação para a tensão gerada pela variação térmica. Para tal, o autor coloca que a dilatação gerada pelo aumento da temperatura terá uma força  $N$  de oposição. Esta força depende do módulo de elasticidade do material e da seção transversal da barra, conforme mostram as equações 2 e 3, expressas por Fiorito (1994, p. 82).

$$N = -E \cdot S \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Equação (2)}$$

$$N = -\alpha \cdot \Delta T \cdot E \cdot S \quad \text{Equação (3)}$$

Onde,

$N$  = Força;

$E$  = Módulo de elasticidade;

$S$  = Área transversal da barra;

$\Delta L$  = variação linear;

$L_0$  = comprimento inicial;

$\alpha$  = coeficiente de dilatação linear;

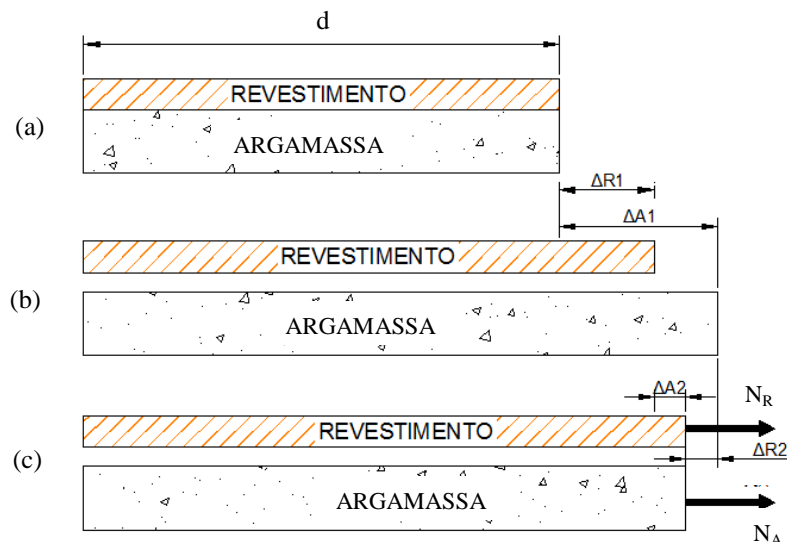
$\Delta T$  = variação de temperatura.

E portando a compressão axial na barra, no caso de um aumento de temperatura, é dada pela equação 4.

$$\sigma = -\alpha \cdot \Delta T \cdot E \quad \text{Equação (4)}$$

Os revestimentos de fachada são geralmente compostos por múltiplas camadas de distintos materiais, fato que agrava a situação, pois esses possuem diferentes coeficientes de dilatação térmica e, portanto, distintas variações volumétricas. Fiorito (1994) apresenta uma equação para a tensão térmica de um sistema composto por argamassa e camada de acabamento, frente a uma variação uniforme de temperatura. A formulação desenvolvida pode ser estendida a sistemas de substrato e revestimento de argamassa, pois somente as propriedades dos materiais irão alterar-se. O autor supõe uma variação linear distinta em cada material e forças que impõem a mesma dimensão a todas as camadas do sistema, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Expansões no revestimento: (a) estado inicial; (b) efeito individual do aumento de temperatura e (c) estado final do conjunto.



(fonte: adaptado de FIORITO, 1994)

Dado que as dilatações térmicas ocorrem segundo a equação 1 e são limitadas por forças contrárias, as variações lineares expostas na Figura 2 (c) serão regidas pelas equações 5 e 6 (FIORITO, 1994, p. 85).

$$\Delta R_2 = \frac{N_R}{E_R S_R} (d + \Delta R_1) \quad \text{Equação (5)}$$

$$\Delta A_2 = \frac{N_A}{E_A S_A} (d + \Delta A_1) \quad \text{Equação (6)}$$

Como as duas camadas estão intimamente ligadas e supõe-se o não desprendimento das mesmas, as duas forças devem anular-se e a soma das variações das camadas será zero. Dado que os coeficientes de dilatação são da ordem de  $10^{-6}$ , é possível fazer a simplificação exposta na equação 7 (FIORITO, 1994, p. 85).

$$(1 + \alpha_R \Delta T) = (1 + \alpha_A \Delta T) = 1 \quad \text{Equação (7)}$$

Desta forma, a força no revestimento pode ser explicada pela fórmula 8 e a tensão no revestimento é regida pela equação 9, para uma determinada espessura da camada suporte e do revestimento (FIORITO, 1994, p. 85). Evidencia-se a proporcionalidade da tensão no material com seu módulo de elasticidade (E), também a relevância das propriedades geométricas das camadas.

$$N_R = \frac{E_R \cdot S_R}{1 + \frac{E_R S_R}{E_A S_A}} \cdot (\alpha_A - \alpha_R) \cdot \Delta T \quad \text{Equação (8)}$$

$$\sigma_R = \frac{E_R}{1 + \frac{E_R e_R}{E_A e_A}} \cdot (\alpha_A - \alpha_R) \cdot \Delta T \quad \text{Equação (9)}$$

Onde,

$N_R$  = força no revestimento;

$\sigma_R$  = tensão no revestimento;

$E_R$  = módulo de elasticidade do revestimento;

$S_R$  = área transversal do revestimento;

$E_A$  = módulo de elasticidade do substrato;

$S_A$  = área transversal do substrato;

$e_R$  = espessura do revestimento;

$e_A$  = espessura do substrato;

$\alpha_R$  = coeficiente de dilatação linear do revestimento;

$\alpha_A$  = coeficiente de dilatação linear do substrato;

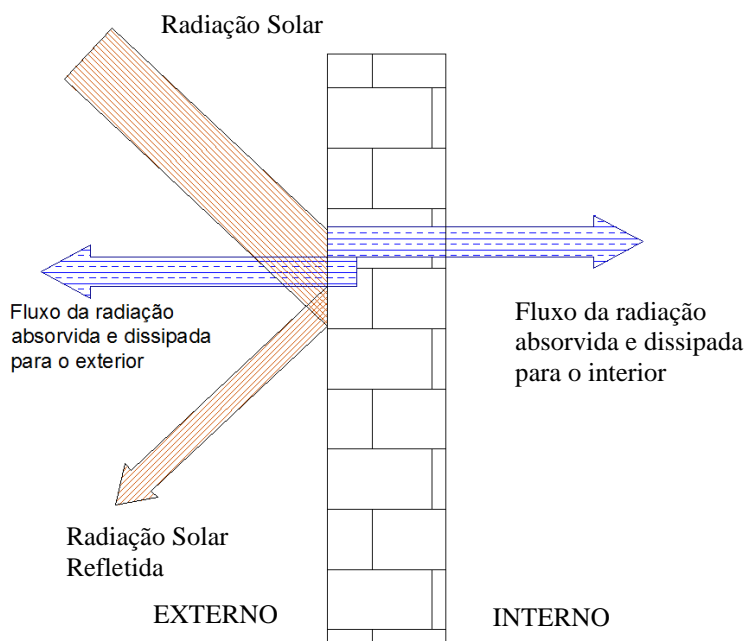
$\Delta T$  = variação de temperatura.

Fiorito (1994) considerou que o sistema encontra-se livre, sem restrições além da imposta pela união entre as camadas. Na situação real de um revestimento de fachada, existem restrições laterais, impostas pela extensão do próprio revestimento e detalhes construtivos. Ademais, a variação de temperatura dificilmente se dará de forma uniforme, visto que geralmente as temperaturas internas e externas das construções são distintas. Assim sendo, o revestimento externo está sujeito a um gradiente térmico, ou seja, a temperatura dentro do material não é uniforme.

## 2.2 GRADIENTE TÉRMICO

A incidência da radiação solar nas fachadas gera um ganho de calor que depende das propriedades térmicas da construção e da intensidade da radiação. Os elementos de vedação compostos por blocos cerâmicos e revestimento de argamassa são classificados, quando sob a incidência dos raios solares, como opacos (FROTA e SCHIFFER, 2001). Assim, quando existe diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno, os mecanismos de troca de calor ocorrem conforme indicado na Figura 3. Essa variação térmica entre as faces opostas das vedações pode provocar inclusive o empenamento do revestimento (MOSCOSO et al., 2013). Dada a diferença de temperatura, os revestimentos externos estão sujeitos a variações volumétricas superiores às ocorridas no substrato (RANSOM, 1987).

Figura 3 – Trocas de calor através de paredes opacas



(fonte: adaptado de FROTA e SCHIFFER, 2001 )

Ressalta-se que o aquecimento superficial dos revestimentos de fachada pode variar segundo a orientação solar, material e cor do revestimento. A absorvidade dos materiais depende de sua natureza e da coloração de sua superfície. Materiais pretos não metálicos possuem alta absorção (RANSOM, 1987). Guimarães et al. (2002) identificaram, através de leituras, temperaturas de 55 °C em uma fachada de orientação norte com revestimento de argamassa acabado por pintura preta, quando a temperatura ambiente estava em 36°C. Já os revestimentos finalizados com pintura branca e placas cerâmicas claras atingiram no máximo 40 °C. Esse mesmo comportamento foi observado para fachada de orientação leste, contudo com temperatura máximas bem mais próximas a temperatura ambiente. Contudo, ressalta-se que para as tensões térmicas, o relevante é a temperatura no material e não a ambiente.

Moscoso et al. (2013) observaram temperaturas inferiores em todas as camadas de um modelo com revestimento cerâmico claro, comparado a modelo similar com cerâmica escura, ao simular computacionalmente o choque térmico. Os autores também constaram que as mudanças de temperatura do choque foram mais severas no revestimento escuro, passando de 64 °C para 35 °C na superfície e de 60°C para 42 °C na interface com o substrato, enquanto a cerâmica claro propiciou quedas de 47 °C para 30 °C e de 45 °C para 32 °C, para superfície e interface com o substrato, respectivamente. Portanto, considerando que maiores temperaturas

podem gerar maiores tensões, os revestimentos com cores escuras estão sujeitos a solicitações mais severas.

Para estimar a variação de temperatura dentro de um sistema de revestimento com placas cerâmicas, Silva et al. (1999) expuseram a face de uma pequena amostra do sistema a um aquecimento de 23 a 70 °C, identificando através de termopares a temperatura das diferentes camadas. Na superfície do revestimento cerâmico, a temperatura atingiu rapidamente os 70 °C, já na interface entre a argamassa colante e a argamassa de regularização a temperatura ficou próxima a 65 °C, levando cerca de 20 minutos adicionais para atingir sua máxima. A temperatura foi decaindo à medida que a distância à superfície exposta aumentava, sendo observada uma temperatura inferior a 30 °C atrás do bloco cerâmico do substrato, durante todo o ensaio.

Segundo Vecchio e Sato (1990), a diferença de temperatura entre faces opostas é o fator dominante nas tensões provocadas pelos gradientes térmicos. Materiais com alta resistência térmica podem tornar-se um ponto de falha nos revestimentos, devido ao forte gradiente térmico que provocam. Em sistemas ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems), geralmente o deslocamento ocorre na camada de isolamento, pois o gradiente de temperatura entre as faces desta camada ocasiona notáveis tensões (DANIOTTI et al., 2012).

### 2.3 FATORES RELACIONADOS ÀS TENSÕES TÉRMICAS

Diversos fatores afetam as tensões térmicas nos materiais, Vecchio e Sato (1990), após realizarem um programa experimental com 3 concretos distintos, concluíram que as forças internas induzidas por cargas térmicas, são altamente dependentes da rigidez da estrutura ensaiada. Os autores também identificaram que essas tensões sofriam influência de fatores como a resistência à tração, a coexistência de cargas mecânicas, as dimensões dos elementos, entre outros. Nos revestimentos de argamassa, o nível de restrição, o módulo de elasticidade da argamassa e o coeficiente de dilatação são alguns dos fatores determinantes nas tensões térmicas.

Para a situação de choques térmicos, Hasselman (1963) aponta que os materiais com boa resistência à fratura, frente a esta solicitação, possuem altos valores de resistência à tração, condutividade e difusividade térmica e baixos valores de módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, emissividade e coeficiente de dilatação térmica.

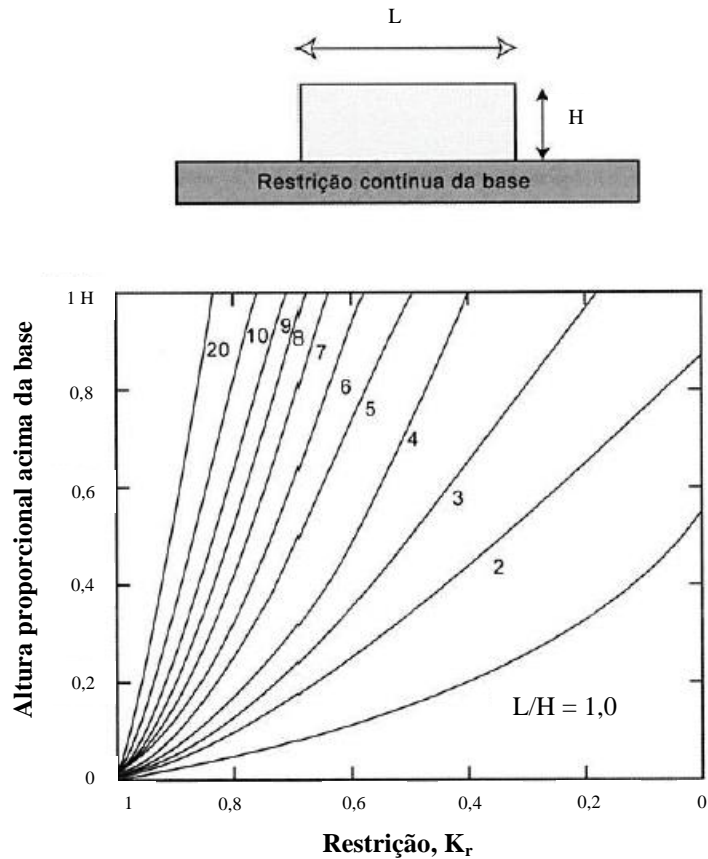
### 2.3.1 Grau de restrição

Para que ocorram solicitações térmicas em um elemento sujeito a um aquecimento uniforme, esse precisa estar restringido de alguma forma, pois caso esteja livre para movimentar-se, não haverá o surgimento de tensões térmicas. De acordo com Neville e Brooks (2013), existem restrições externas e internas, o primeiro caso refere-se a elementos adjacentes que impedem a movimentação, já as restrições internas ocorrem quando existe um gradiente de temperatura no material. Dirx e Grégoire (2012) colocam que as restrições externas existem em materiais fixos a outros, heterogêneos e em sistemas multicamadas, onde materiais com diferentes propriedades estão aderidos.

Mehta e Monteiro (2008) apontam a importância do nível de restrição em estruturas massivas de concreto, visto que o calor gerado pela hidratação pode ser elevado. Os autores denominam  $K_r$  o grau de restrição ao qual um elemento está sujeito e colocam que esse deve ser considerado no cálculo das tensões. Um elemento totalmente confinado tem seu grau de restrição  $K_r$  igual a 1, porém geralmente os elementos estão apenas parcialmente limitados. Mehta e Monteiro (2008) exemplificam a situação, citando o caso onde o concreto dos elementos de fundação esteja restringido em sua base por uma rocha indeformável. Na interface com a rocha a restrição será total, porém à medida que aumenta a distância da interface, o nível de restrição é reduzido. Para tal caso, os autores colocam que essa redução da restrição ocorre segundo a Figura 4, onde se nota que na medida em que a relação entre a largura e altura do elemento aumenta, a restrição diminui.

Ao analisar o gráfico de Mehta e Monteiro (2008), Figura 4, e estendê-lo para sistemas de revestimento aderido, conclui-se que estes elementos possuem alto grau de restrição. Supondo um pano de fachada com 3 m (300 cm) de extensão, com revestimento de argamassa de 3 cm de espessura, a relação L/H seria igual a 100. Extrapolando o gráfico, pode-se deduzir que para tal situação o grau de restrição é muito próximo de 1, para toda sua espessura. Contudo, considerando uma amostra de tamanho reduzido com revestimento de igual espessura, porém com 30 cm de largura, a relação L/H cai para 10 e, portanto para as proximidades da superfície externa do revestimento a restrição tem um grau  $K_r$  próximo a 0,8.

Figura 4 – Grau de restrição



(fonte: ACI<sup>1</sup>, 1998 apud MEHTA MONTEIRO, 2008)

Moscoso et al. (2013), ao simular computacionalmente choques térmicos em um revestimento com acabamento cerâmico, identificaram que a maior tensão ocorreu na interface entre a argamassa de regularização e o substrato. Os autores atribuíram esse comportamento ao fato da base ter sido modelada como um elemento isento de deformações, e portanto o revestimento estar restrito a movimentações nesta área. Portanto, no caso de elementos suportados por base rígida e com a extremidade oposta livre, as tensões provocadas por variações de volume reduzem à medida que se afastam da face restringida.

### 2.3.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é uma relação entre a tensão e a deformação causada no elemento, portanto é um parâmetro de rigidez do material. É unanimidade entre os autores, que o módulo de elasticidade do material apresenta grande influência nas tensões térmicas

<sup>1</sup> ACI Committee 207, Cooling Mass Concrete, 1998.

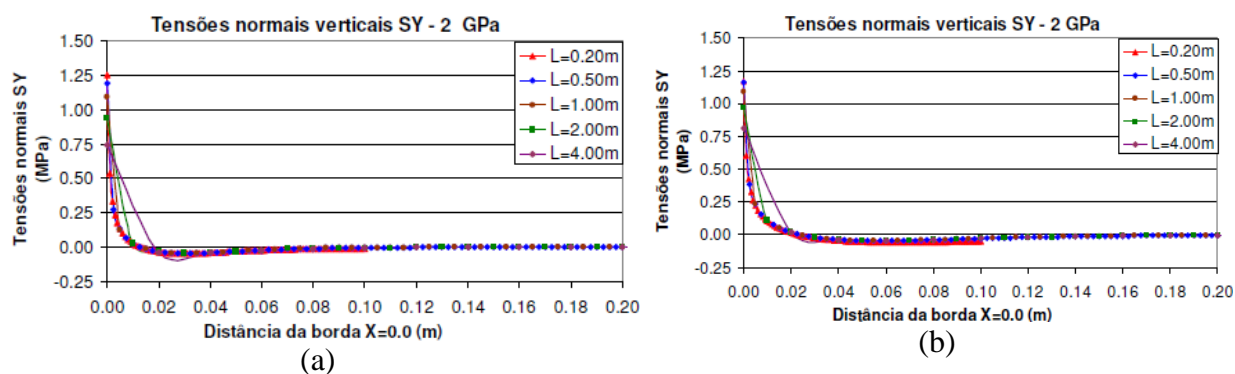


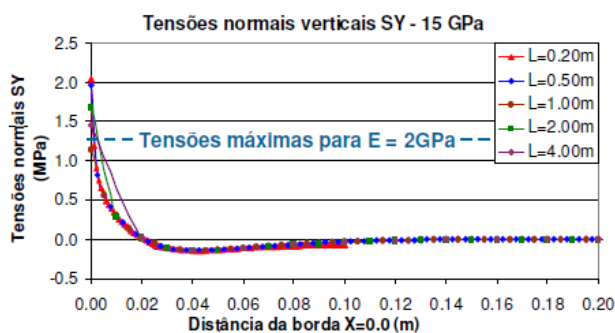
(HASSELMAN, 1963; VECCHIO E SATO, 1990; FIORITTO, 1994; MOSCOSO et al., 2013). As equações 8 e 9, descritas no item 2.1 deste trabalho, mostram que também o módulo da camada de base influi nas tensões térmicas do revestimento. Da mesma forma, o modelo, exemplificado por Timoshenko e Goodier (1951) para o cálculo de tensões térmicas em um determinado material, considera o módulo de elasticidade, sendo a tensão proporcional a esse parâmetro.

Descontinuidades no módulo de elasticidade dos materiais, formadas por barreiras entre grãos ou regiões com diferentes módulos, podem afetar a propagação de fissuras no elemento, quando este está sob efeito de tensões. Essas descontinuidades de elasticidade podem dispersar ondas elásticas, energia cinética, removendo a energia da propagação de fissuras. Desta forma, inclusões com módulo de elasticidade distinto ao do material ensaiado, maior ou menor, podem aumentar a resistência à propagação de fissuras devido ao choque térmico (HASSELMAN, 1963).

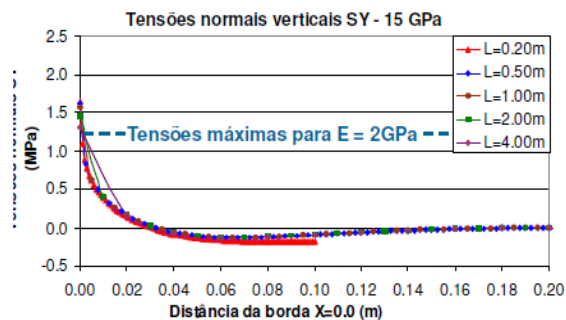
Esquivel (2009) observou, em modelos computacionais de revestimentos submetidos a tensões térmicas, que os elementos de maior módulo de elasticidade apresentaram maiores tensões. O autor identificou que para os modelos construídos com rigidez baixa, 2 GPa, a espessura do revestimento não afetou a tensão final, contudo para rigidez de 15 GPa esta característica exerceu influência sobre a tensão, conforme evidencia a Figura 5. Nota-se a existência de uma concentração de tensões na borda do modelo, independente da combinação, e que as forças estabilizam à medida que se aproximam do centro.

Figura 5 – Variação das tensões segundo o módulo e espessura: (a) e (c) possuem 2,5 cm de espessura e (b) e (d) possuem 5 cm.





(c)



(d)

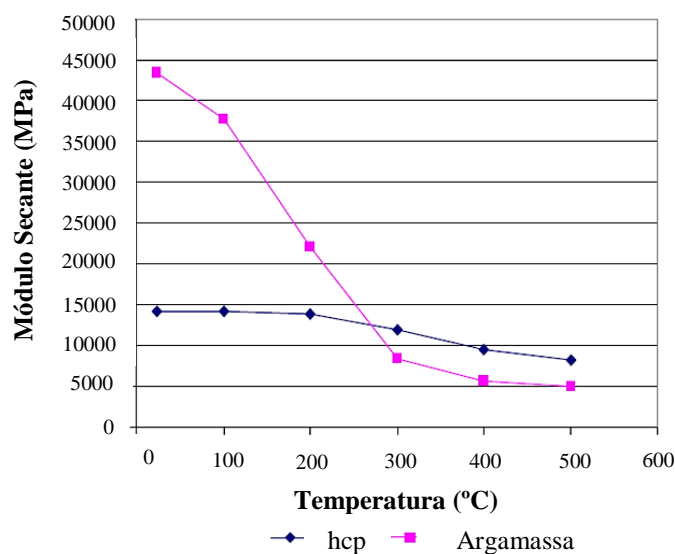
(fonte: ESQUIVEL, 2009)

Em sistemas de revestimento, camadas compostas por materiais com alto módulo de elasticidade podem absorver a maior parte das tensões de compressão, impostas por um aumento de temperatura (MOSCOSO et al., 2013). Os autores observaram, em um sistema com placas cerâmicas e juntas preenchidas com rejunte, que as tensões abaixo dos elementos cerâmicos eram inferiores as tensões abaixo da camada de rejunte. Para Moscoso et al. (2013), esse comportamento deve-se ao fato da cerâmica, por possuir maior módulo de elasticidade, transmitir uma menor porcentagem das solicitações as camadas subsequentes.

Miranda e Selmo (2006) identificaram maior índice de microfissuras em argamassas com menor módulo de elasticidade, após a exposição a choques térmicos. Os autores atribuíram esse maior nível de microfissuração à baixa resistência à tração das argamassas. Portanto, apesar de materiais com maior módulo apresentarem maiores níveis de tensões, os mesmos podem ser mais resistentes a tais esforços.

Fu et al. (2004, p. 795) identificaram em sua pesquisa, que frente a elevadas temperaturas, o módulo de elasticidade secante reduziu 43% para pasta de cimento (hcp) e 89% para a argamassa, conforme a Figura 6. Fu et al. (2004) atribuem a maior deterioração do módulo secante da argamassa às microfissuras formadas devido a diferença entre os coeficientes de dilatação térmica da pasta e dos agregados, explanado no item 2.3.3. Constata-se que para uma aquecimento até 100°C, o módulo da argamassa sofre uma redução ligeiramente superior a 5 GPa, que representa 11% do módulo de elasticidade inicial.

Figura 6 – Influência da temperatura no módulo secante da pasta e da argamassa



(fonte: adaptado de FU et al., 2004)

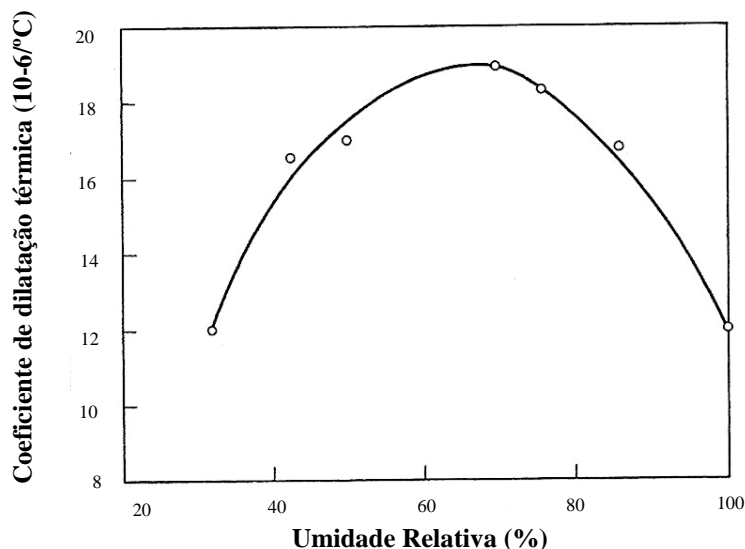
### 2.3.3 Coeficiente de dilatação

A variação dimensional dos materiais frente a mudanças de temperatura é diretamente proporcional ao seu coeficiente de dilatação. Fiorito (1994, p. 56) indica que para as argamassas o coeficiente de dilatação térmica varia entre  $10$  e  $12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , Ransom (1987, p. 8) informa um intervalo mais abrangente: de  $9$  a  $13 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . O concreto e o aço apresentam intervalo similar ao das argamassas, porém para materiais cerâmicos o coeficiente de dilatação fica entre  $5$  e  $6 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (RANSOM, 1987). Portanto, alvenarias edificadas com blocos ou tijolos cerâmicos possuem baixo coeficiente de dilatação térmica linear. Na ausência de dados experimentais, a norma NBR 15812 (ABNT, 2010) indica os valores  $6,0 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e  $9,0 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , para alvenarias em blocos de cerâmicos e de concreto, respectivamente.

Segundo Neville e Brooks (p. 245, 2013), o coeficiente de dilatação térmica da pasta de cimento depende das condições de umidade, isto porque esse coeficiente possui 2 componentes. O primeiro é o coeficiente térmico verdadeiro, cinético, gerado pela movimentação molecular da pasta. O segundo componente é o coeficiente de dilatação higrotérmica, que é decorrente do acréscimo da pressão de vapor de água devido ao aumento da temperatura, causando conseqüentemente uma expansão da pasta. Os autores salientam que não é possível ocorrer expansão higrotérmica quando a pasta está 100% seca ou totalmente

saturada, pois não há como alterar a pressão de vapor de água nesses casos. A Figura 7 relaciona a umidade relativa do ambiente ao coeficiente de dilatação térmica de uma pasta de cimento curada normalmente. Para umidade relativa próxima dos 70%, esse coeficiente pode atingir mais de  $18 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

Figura 7 – Relação entre a umidade relativa e o coeficiente de dilatação de pasta de cimento curada normalmente

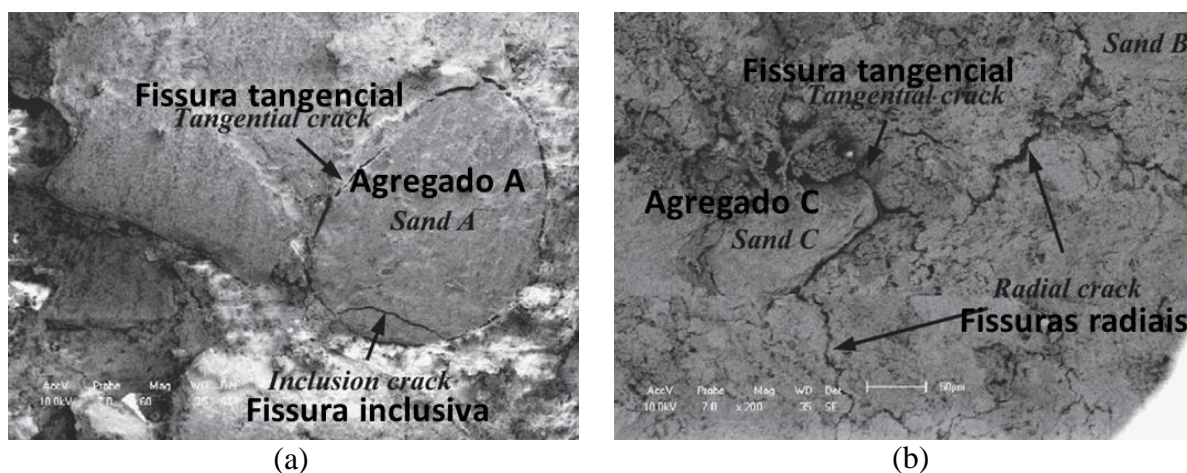


(fonte: MEYERS<sup>2</sup>, 1951 apud NEVILLE e BROOKS, 2013)

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que as matrizes cimentícias, como o concreto e argamassas, têm seu coeficiente de dilatação alterado pelo agregado utilizado. Para os agregados basálticos o coeficiente de dilatação varia entre  $3,6$  e  $9,7 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , enquanto que para a pasta de cimento os valores ficam entre  $11$  e  $16 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (NEVILLE e BROOKS, p. 57-58, 2013). Os autores destacam que da mesma forma que ocorre nas retrações por secagem, os agregados restringem as variações volumétricas da pasta de cimento, geradas por um aumento da temperatura. Fu et al. (2004) ilustram em sua pesquisa, Figura 8, 3 tipos de fissuras causadas pela diferença entre os coeficientes de dilatação da pasta e do agregado, em uma argamassa exposta a  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

<sup>2</sup> MEYERS, S. L. How temperature and moisture changes may affect the durability of concrete. Rock Products. p. 153-157. Chicago. Aug. 1951.

Figura 8 – Fissuras em uma argamassa exposta a 300°C: (a) fissuras tangentes e no interior do agregado e (b) fissuras radiais na pasta e tangenciais ao agregado

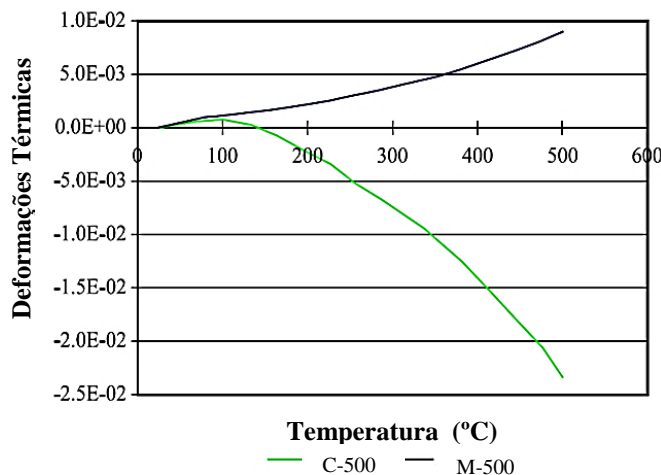


(fonte: FU et al., 2004)

É possível identificar na Figura 8 (a) o surgimento de fissuras na interface entre o agregado e a pasta de cimento e mesmo a fissuração do próprio agregado. Na Figura 8 (b), verificam-se fissuras radiais na pasta da argamassa. Fu et al. (2004) destacam que comumente as fissuras radiais, como as da imagem (b), ocorrem quando o coeficiente de dilatação térmica da pasta é inferior ao do agregado. Já as fissuras na interface das fases e no interior dos agregados surgem em argamassas onde o coeficiente de dilatação da pasta é superior. Os autores explicam que a ocorrência de ambos os tipos de fissuração é possível, pois conforme ilustra a Figura 9, a deformação térmica da pasta sofre um aumento até pouco mais de 100 °C, quando começa a retrair. Para a argamassa, a expansão ocorre de forma praticamente linear, devido à expansão contínua do agregado. Os autores concluem que as fissuras na interface e no interior dos agregados formam-se com temperaturas inferiores a 100 °C, enquanto as fissuras radiais surgem em temperaturas entre 200 e 300 °C. Assim, o coeficiente de dilatação dos agregados miúdos utilizados são inferiores aos da pasta de cimento endurecida, para temperaturas abaixo de 100 °C (VERBECK E HASS, 1951<sup>3</sup>, apud FU et al., 2004).

<sup>3</sup>VERBECK, G.J.;HASS, W.E. Portland Cement Association, dilatometer method for determination of thermal coefficient of expansion of fine and coarse aggregate, in: R.W. Crun, F. Burggraf, J.R. Carey (Eds.), Proceedings of The 13th Annual Meeting, Highway Research Board, Division of Engineering and Industrial Research, National Research Council, Washington, DC, pp. 187–193,1951.

Figura 9 – Expansão térmica da pasta de cimento (C-500) e da argamassa (M-500), em função da temperatura



(fonte: adaptado de FU et al., 2004)

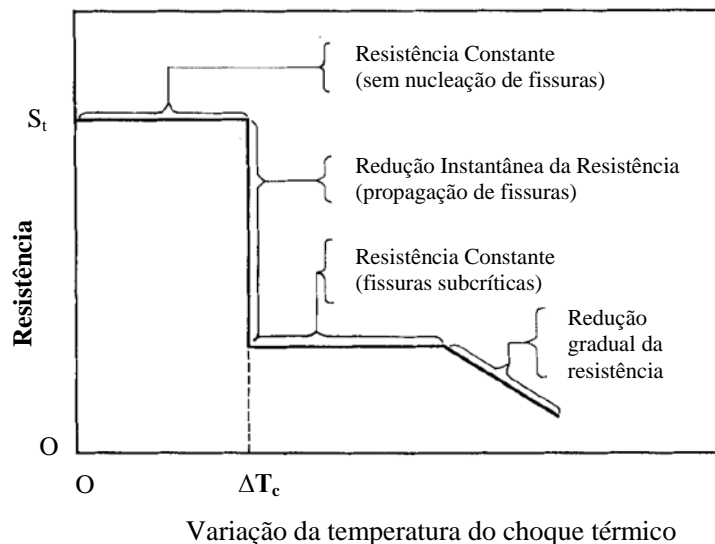
### 2.3.4 Resistência mecânica

A resistência mecânica dos elementos afeta diretamente seu comportamento frente às tensões geradas por variações de temperatura. Materiais com alta resistência à tração possuem boa resistência ao início da fissuração devido a tensões térmicas, entretanto quando essas falhas já estão presentes no elemento, uma baixa resistência pode reduzir os danos gerados por choques térmicos. A resistência mecânica dos corpos de prova pode ser utilizada para melhorar seu desempenho quando expostos a choques térmicos, buscando-se valores iniciais que propiciem a máxima resistência posterior ao choque. Por exemplo, se um material com determinado módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson possuir alta resistência mecânica e ir à ruptura após o ensaio, esse terá sua resistência final próximo a zero. Entretanto, se o mesmo material possuir baixa resistência mecânica no estado inicial, mesmo que não sofra grande redução em suas propriedades após as solicitações, permanecerá com baixa resistência como no estado inicial. Desta forma, há uma resistência mecânica ideal que irá proporcionar o maior valor possível posterior aos choques. Contudo, salienta-se que na prática é improvável, ou mesmo impossível, variar apenas a resistência mecânica do material sem alterar as demais propriedades (HALSSEMAN, 1963).

Miranda e Selmo (2006), após expor a choques térmicos diferentes revestimentos executados em argamassas com resíduos de construção e demolição, identificaram que as misturas com maior resistência à tração apresentaram um menor número de microfissuras. Os autores

observaram que a suscetibilidade a microfissuras é muito menor nas argamassas com alta resistência à flexão. Hasselman (1970) afirma que para materiais cerâmicos, devido a sua fragilidade, é possível prever o comportamento da resistência em função da gravidade do choque térmico, através da combinação dos efeitos da severidade mínima para iniciar as fraturas e a natureza subcrítica das fissuras recém-formadas. Através da Figura 10, percebe-se que há um limite de severidade em que o choque não causa alteração à resistência. Ultrapassado esse limite, a propagação de fissuras inicia reduzindo a resistência mecânica do material.

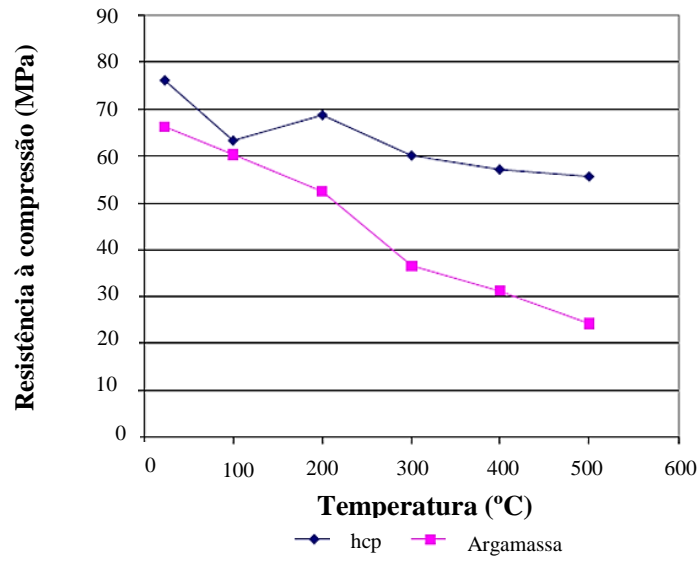
Figura 10 – Representação esquemática do comportamento da resistência mecânica em função da severidade do choque



(fonte: adaptado de Hasselman, 1970)

Assim como para o módulo de elasticidade, Fu et al. (2004) observaram uma redução na resistência mecânica da pasta de cimento e da argamassa. Comparando amostras de referência em temperatura ambiente com amostras expostas à 500 °C, os autores observaram uma redução de 27% para a pasta e 66% para a argamassa. A Figura 11 mostra que até 100 °C a perda de resistência ocorrida na argamassa é próxima a 24%.

Figura 11 – Redução da resistência à compressão da argamassa e da pasta (hcp) em função do aumento de temperatura



(fonte: adaptado de FU et al., p. 795, 2004)



### 3 CHOQUE TÉRMICO COMO METODOLOGIA DE ENSAIO

O choque térmico é utilizado no meio científico como agente de degradação acelerada de materiais e sistemas há décadas. Já em 1969, Ainsworth e Moore (1969) adotaram o choque térmico para avaliar a perda de resistência de amostras compostas de alumina, aquecendo-as a temperaturas entre 150°C e 500°C e submergindo-as sequencialmente em água gelada. Hasselman (1970) realizou ensaio semelhante, aquecendo suas amostras a distintas temperaturas e resfriando-as com imersão em água, para então avaliar a resistência remanescente. Miszczyk e Darowicki (1998) avaliaram a resistência a choques térmicos de diversas películas, utilizadas para proteção de metais, concretos e madeiras. Ademais dos trabalhos experimentais, na década de 60 e 70, algumas pesquisas prediziam teoricamente a degradação de materiais frágeis após a exposição a choques térmicos (HASSELMAN, 1963; HASSELMAN, 1969; HASSELMAN, 1970).

Na indústria, também se utiliza o choque térmico como metodologia de ensaio há décadas, principalmente em materiais refratários. Neste âmbito, os choques são empregados com amplitudes térmicas e mecanismos de transferência de calor iguais, assim distintos materiais são expostos à mesma severidade de choque. Nessa metodologia, a resistência do material em estudo é avaliada mensurando-se o efeito dos choques térmicos, nas propriedades ou condições físicas do corpo de prova. Por exemplo, verifica-se a perda de massa após determinado número de ciclos, perda de resistência percentual ou mudanças na permeabilidade. Outro método, com maior utilização em pesquisas científicas, baseia-se em determinar a dificuldade para a nucleação de fissuras e trincas com a exposição a choques térmicos. Ressalta-se que materiais ensaiados por métodos diferentes não podem ser diretamente comparados, pois as propriedades físicas que influenciam cada caso são distintas. As propriedades que regem a resistência ao choque térmico por grau de deterioração são as propriedades físicas do material que afetam a propagação das fissuras, quando estas já existem. Enquanto no segundo método, as propriedades que determinam a resistência são as que influenciam o início da nucleação de fissuras (HASSELMAN, 1963).

As pesquisas objetivam, em sua maioria, identificar a durabilidade do sistema em estudo frente a determinados agentes de degradação, inclusive em alguns casos, procedimentos com

choques térmicos são nomeados ensaios de durabilidade. Para que a metodologia adotada seja de fato eficaz, é preciso que a mesma possua relação com o comportamento do sistema em uso, e que sua representatividade seja comprovada. John e Sato (2006) elencam três tipos de abordagens possíveis para avaliar a durabilidade de um sistema: ensaios de envelhecimento acelerado, realizados em laboratório; ensaios de envelhecimento natural e estudos de campo.

Jelle (2012) aponta que os ensaios de envelhecimento acelerado são uma alternativa para estudos longos na situação real, com a vantagem de permitirem o controle dos agentes de degradação, o que não é possível na exposição natural. John e Sato (2006) ressaltam que para cada situação, sistema e mecanismos de degradação, um procedimento novo deveria ser desenvolvido. A norma NT BUILD 495 (NORDTEST, p. 1, 2000) traz uma nota afirmando que testes de envelhecimento acelerado apresentam o risco de causar degradação por mecanismos distintos aos da situação real. Assim, os resultados obtidos em ensaios acelerados devem sempre que possível ser comparados a resultados obtidos em estudos na situação real, com os mesmos materiais e métodos de execução. Contudo, existem diretrizes internacionais que podem ser seguidas, por exemplo, os guias desenvolvidos pelo grupo EOTA, Organização Europeia Para Aprovação Técnica. Destaca-se o documento GD003 (EOTA, 1999), nomeado de Avaliação da Vida Útil de Produtos, que contém uma diretriz para a validação de ensaios de durabilidade. O documento consiste de exemplos explicativos, mas adverte que para cada produto ou sistema, os ensaios terão de ser desenvolvidos individualmente.

O guia GD003 (EOTA, 1999) traz instruções para a avaliação dos sistemas, através de fases de estudo, dentre elas a etapa de definição é primordial. Nesse momento, devem ser identificados fatores como as necessidades dos usuários e o contexto da edificação. Os critérios de desempenho também precisam ser definidos nesta fase. John e Sato (2006) afirmam que é essencial conhecer o uso final, para determinar quais propriedades serão avaliadas, pois caso contrário características equivocadas podem ser priorizadas. O guia GD003 (EOTA, 1999) propõe a comparação dos ensaios de envelhecimento acelerado a estudos em condições reais de uso, para validar sua correlação. Porém, ressalta que muitas vezes esse procedimento de conferência não é possível, devido a curtos prazos para o desenvolvimento do trabalho. Portanto, segundo o guia, os pesquisadores devem eleger ensaios existentes e já validados, que sejam adequados à situação em questão. Para tal, diversas normas para avaliar a degradação de materiais e sistemas foram desenvolvidas. No

item 3.1, abordam-se alguns desses documentos que utilizam o choque térmico como agente de degradação.

### 3.1 NORMAS QUE EMPREGAM CHOQUE TÉRMICO

O choque térmico pode ser identificado em diversos documentos técnicos, internacionais e nacionais. No cenário internacional, as normas que adotam esse agente de degradação geralmente são específicas, ou seja, são direcionadas para determinados sistemas. Por exemplo, a AS/NZS2908 parte 2 (AUSTRALIAN STANDARD; NEW ZEALAND STANDARD, 2000) é voltada a chapas de fibrocimento. Originado da ISO 8336, esse documento traz requisitos mínimos e métodos de avaliação para esses elementos. Assim como a norma australiana, a ASTM C1185-08 (ASTM, 2012) traz procedimentos para avaliar elementos de fibrocimento. Já a EN 13687-2 (EUROPEAN STANDARD, 2002) utiliza choques térmicos para a compatibilização térmica de concretos e argamassas de recuperação.

Nacionalmente, a NBR 15498 (ABNT, 2014) trata de peças de fibrocimento, também estabelecendo requisitos e métodos de ensaio. Quanto ao choque térmico, essa norma determina que o mesmo seja realizado sobre produtos prontos, com área mínima de 3,5 m<sup>2</sup> e máxima de 12 m<sup>2</sup>. O ensaio consiste em aspergir água durante 2 horas e 50 minutos, pausa de 10 minutos, secagem por 2 horas e 50 minutos, à temperatura de 60°C controlada por corpo negro, nova pausa de 10 minutos, repetindo o ciclo 25 vezes. Esse procedimento é idêntico ao contido na ISO 8336 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2009), que muda apenas o número de repetições, 25 ou 50, de acordo com o tipo de elemento ensaiado.

A ETAG 004 (EOTA, 2000) avalia sistemas de vedação vertical externa (ETICS), estabelecendo desempenho mínimo e métodos de avaliação. O ensaio de choque térmico desta norma, diferente das normas citadas anteriormente, mensura a temperatura diretamente na superfície do corpo de prova, atingindo máxima de 70°C e mínima de 15°C. O método prevê um ciclo com 4 horas de duração seguido de 2 horas de intervalo, denominado de ciclo higrotérmico, que deve ser repetido 80 vezes. O documento também traz outros ensaios de avaliação, por exemplo, ciclos de gelo e degelo.

Dirkx e Grégoire (2012) apontam que para climas mais severos, como o observado na Bélgica, os procedimentos indicados pela ETAG 004 devem ser adaptados. Os autores propõem critérios mais rigorosos para a avaliação dos ETICS, pois os métodos indicados na normativa clássica não atendem as reais solicitações encontradas em determinadas regiões. Em 2004, o grupo EOTA divulgou um relatório técnico para a avaliação de sistemas de impermeabilização de coberturas, o TR010 (EOTA, 2004). Esse relatório aponta duas condições de exposição diferentes, moderada e severa, elaboradas para diferentes zonas climáticas da Europa. Para cada condição, uma temperatura distinta é apontada, de 50°C a 70°C quando mensuradas em painel negro padrão. O quadro 1 resume algumas das características observadas em normas e guias nacionais e internacionais.

Quadro 1 – Síntese das características das normas que utilizam choque térmico

NORMA	ANO	SISTEMA AVALIADO	DIMENSÕES DA AMOSTRA (cm)	TEMP. MÁXIMA/DURAÇÃO	Nº DE CICLOS
EN 13687-2	2002	Argamassas de recuperação de concreto	-	60 °C/5:45 h (aquecimento)	definido na EN 1504/30
ETAG 004	2008	ETICS	> 6 m <sup>2</sup> (altura > 2 m e largura > 2,5m)	70°C/2:00h	80
ISO 8336	2009	chapas de fibrocimento	3,5 a 12 m <sup>2</sup>	60°C/02:50h	25 a 50
ASTM C1185-08	2012	chapas de fibrocimento (Paredes)	> 3,5 m <sup>2</sup>	60°C/02:55h	-
ASTM C1185-08	2013	chapas de fibrocimento (Tetos)	> 4,5 m <sup>2</sup>	60°C/02:56h	-
NBR 15498	2014	chapas de fibrocimento	3,5 a 12 m <sup>2</sup>	60°C/02:50h	25
NBR 15575-4	2013	Vedações verticais	largura 1,2 m e altura equivalente ao pé direito	80 °C/ 1:00 h	10

(fonte: elaborado pela autora)

A quarta parte da norma brasileira de desempenho trata de sistemas de vedações verticais, estabelecendo requisitos, critérios e métodos de avaliação. O anexo E deste documento traz as diretrizes para um ensaio de avaliação das vedações verticais externas frente a ciclos térmicos. O princípio do ensaio é expor as paredes a uma fonte de calor radiante e posterior resfriamento com água, muito semelhante ao proposto pela norma europeia EN 13687-2

(EUROPEAN STANDARD, 2002). O equipamento para o ensaio necessita de um painel radiante capaz de elevar a superfície da parede até 80 °C, essa temperatura deve ser controlada na superfície da amostra, assim como na ETAG 004 (EOTA, 2000). Também são necessários aspersores de água, para o resfriamento, termopares para o controle da temperatura e um defletômetro. O dispositivo para fixação do corpo-de-prova deve ser tal que a amostra fique simplesmente apoiada em seu bordo superior e inferior. O corpo-de-prova é descrito pela norma como “[...] constituído por um trecho de parede acabada, executada com os detalhes construtivos a serem empregados em obra, com extensão de  $(1,20 \pm 0,20)$  m e a espessura característica.” (ABNT, p. 46, 2013).

A norma recomenda que ao menos 2 corpos-de-prova sejam ensaiados, sendo que esses devem ser fixados na posição vertical, e na face oposta à exposição deve-se instalar o defletômetro. O painel radiante deve ser colocado em frente à parede a ser ensaiada, distante de maneira que a temperatura na superfície do corpo-de-prova atinja 80 °C. Esta temperatura deve ser mantida por 1 hora, para que então o corpo-de-prova seja resfriado por aspersão de água até a temperatura de 20 °C. O ciclo descrito precisa ser repetido 10 vezes para cada uma das amostras. Em cada um deles uma análise visual deve ser realizada e a ocorrência de qualquer anomalia precisa ser registrada. Após 45 minutos da estabilização da temperatura superficial em 80 °C e imediatamente após o resfriamento do corpo-de-prova o deslocamento horizontal deve ser registrado.

### 3.2 TRABALHOS COM CHOQUE TÉRMICO EM REVESTIMENTO

O choque térmico é adotado como método de avaliação de sistemas de vedação vertical há décadas, em pesquisas realizadas no país. O quadro 2 traz características de estudos nacionais que utilizaram esse procedimento. Nota-se que predominantemente os trabalhos foram realizados em sistemas compostos por alvenaria, de blocos cerâmicos ou de concreto, e revestimentos argamassados. Contudo, também se encontram na literatura pesquisas que avaliaram sistemas de vedação de PVC, placas cimentícias, entre outros. Independentemente do sistema ensaiado, os equipamentos adotados para a realização do experimento consistem majoritariamente em um painel com lâmpadas incandescentes, para proporcionar o aquecimento, e o choque térmico se dá através da aspersão de água em temperatura ambiente ou resfriada.

Quadro 2 – Síntese das características dos trabalhos nacionais consultados

AUTOR	ANO	SISTEMA ENSAIADO	DIMENSÕES DA AMOSTRA (cm)	RESTRICÇÕES AS DILATAÇÕES	TEMP. MÁXIMA/DURAÇÃO	Nº DE CICLOS
GEYER	1994	Subst. de tijolo maciço, chapisco e revestimento cerâmico.	75,5x50xe 45x60xe	Não	80°C/1h	10
ROMAN ET AL.	2000	Subst. de bloco cerâmico, emboço, ACII e revestimento cerâmico.	91x91xe	Não	68°C/1h	120
MIRANDA E SELMO	2003	Subst. de concreto, chapisco e revestimento de argamassa com RCD.	135x210xe	Não	80°C/1h	10
CRESCÊNCIO E BARROS	2003	Pórtico de concreto com vedação de blocos cerâmicos e revestimento em monocamada.	Não informado	Não informado	80°C/1h	10
VILATÓ E FRANCO	2005	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e revestimento de argamassa.	240x240xe	Sim	80°C/1h	12
ESQUIVEL	2009	Subst. de concreto e revestimento de argamassa	40x30xe	Sim	70°C/3h	30
TEMOCHE E BARROS	2010	Substrato de concreto e revestimento de argamassa.	40x30xe	Não	70°C/1,5h	30
FONTENELLE	2012	Placas cimentícias fixadas em montantes com a presença de juntas.	120x240xe	Sim	80°C/1h	10
OLIVEIRA ET AL.	2014	Paredes de perfis de aço e placas cimentícias.	240x260xe 120x260xe	Sim e Não	80°C/1h	10
VARISCO	2014	Subst. de bloco de concreto celular autoclavado e revestimento de argamassa industrializada.	180x275x10	Não	80°C/1h	10
CONTE	2014	Subst. de bloco à base de cinza pesada, rejunte e pintura acrílica.	120x230xe	Não	80°C/1h	10
SENTENA	2015	Subst. de bloco cerâmico, chapisco convencional e revestimento de argamassa.	29x19xe	Não	80°C/1h	40
MORAES	2015	Paredes de PVC preenchidas com concreto.	120x240x70	Não	80°C/1h	10

\*e= espessura final do sistema

(fonte: elaborado pela autora)

Anteriormente à publicação da norma de desempenho brasileira, em 2013, as pesquisas já adotavam predominantemente 80°C como temperatura máxima, durante uma hora, com 10 repetições. Deve-se esta uniformidade a um método de ensaio desenvolvido pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), na década de 1990, que foi reproduzido com certas adaptações em grande parte dos estudos nacionais consultados. Constatou-se que, conforme preconiza o método IPT e a NBR 15575 (ABNT, 2013a), a temperatura é controlada através de termopares ligados diretamente na superfície das amostras. Contudo, não existe determinação da velocidade de aquecimento, fator que pode influenciar o nível das tensões térmicas, tampouco existe uma padronização na temperatura da água de resfriamento ou tempo limite para atingir a temperatura mínima estabelecida.

Existe uma grande variação nas dimensões adotadas para as amostras, no entanto, percebe-se que anteriormente a publicação da NBR 15575, havia uma maior porcentagem de trabalhos com corpos de prova de tamanho reduzido, com altura inferior a um pé direito. Em geral, não é apresentada justificativa para o tamanho das amostras adotadas, Fontenelle (2012), porém, definiu as dimensões das placas cimentícias segundo seu módulo higroscópico. O autor adotou restrições às dilatações dos sistemas de vedação ensaiados, confinando-os em pórticos de concreto armado, pois considerou que o pórtico não sofre movimentações com os choques, devido a sua massa.

Oliveira et al. (2014) utilizaram elementos de madeira parafusados nas laterais da amostra, visando impedir a expansão da mesma. Nesse estudo, compararam-se amostras de diferentes dimensões, restringidas e livres, constatando que em corpos de prova maiores e confinados ocorre um maior nível de fissuração com os choques térmicos. Alguns trabalhos acabam por impor restrições às dilatações devido à metodologia adotada, por exemplo, Esquivel (2009) manteve a moldura de madeira utilizada para a confecção do revestimento de argamassa durante o ensaio de choque térmico, causando assim algum impedimento às expansões. Vilató e Franco (2005) ao construírem estruturas com 2,40m de largura e adotarem um equipamento de aquecimento com dimensão inferior, tornaram as laterais não expostas ao calor em uma restrição as dilatações centrais. Entretanto, predominantemente tais limitações não são impostas, permitindo a livre movimentação das amostras durante os choques térmicos.

Destaca-se que as pesquisas utilizam frequentemente a resistência de aderência à tração como variável de resposta (GEYER, 1994; ROMAN et al., 2000; MIRANDA E SELMO, 2006;

CRESCENCIO E BARROS, 2003; ESQUIVEL, 2009; DIRKX E GREGÓIRE, 2012; SENTENA, 2015), devido à alta importância desta propriedade nos revestimentos. Contudo, a regra é que se registre qualquer avaria ocorrida no sistema ensaiado, devido aos choques térmicos.

No cenário internacional, o choque térmico também é utilizado como metodologia de ensaio para avaliação de sistemas e materiais. Contudo, a maior parte dos trabalhos adota-o combinado a outros agentes de degradação. Por exemplo, Kargol et al. (2011) utilizaram os parâmetros da EN 13687-2 (EUROPEAN STANDARD, 2002) em uma câmara de envelhecimento acelerado, para avaliar a durabilidade de corpos de prova cimentícios revestidos com películas hidrofugantes. Daniotti e Paolini (2008) adotaram além dos choques térmicos, os quais nomeiam de ciclos de verão, ciclos de gelo e degelo e radiação UV, no intuito de analisar a resistência de sistemas ETICS. Os autores utilizaram amostras de 1x1 m confinadas por perfis de alumínio para reproduzir as condições de contorno. Demirdag (2013) e Yavuz (2011) adotaram os procedimentos da norma turca TS EN 14066 para avaliar o desempenho de mármore travertino e adesivo, rochas utilizadas como revestimento de fachada, frente a ciclos de gelo e degelo e a choques térmicos, respectivamente.

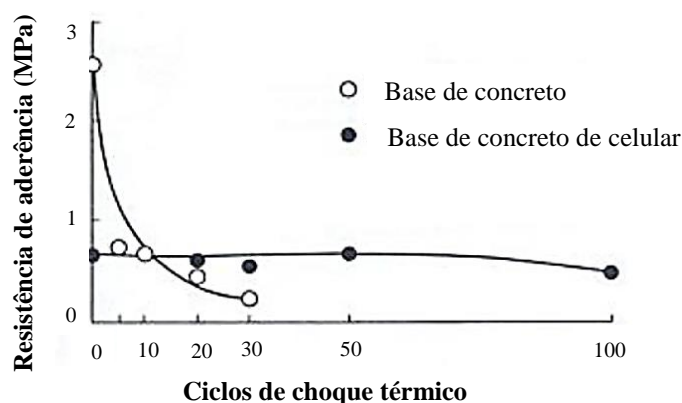
Alguns trabalhos utilizam apenas ciclos com variação de temperatura e umidade, contudo muitas vezes são adotadas temperaturas abaixo de zero. Nesses casos, o congelamento da água no interior do material pode acarretar em tensões, devido ao aumento de volume da mesma. Yang et al. (2016) avaliaram a degradação de paredes de cisalhamento de concreto após ciclos de gelo e degelo. Os autores adotaram amostras de 0,70x0,70 m confinadas por vigas de concreto armado. Veiga et al. (2000) utilizaram diversos ciclos para o envelhecimento acelerado de vedações verticais revestidas de argamassa. Os autores submetem amostras de 3x2 m a 10 ciclos de frio e calor (60 °C e -15 °C), 10 ciclos de calor e chuva (70 °C e 20 °C), esses segundo os procedimentos do guia ETAG 004, e 10 ciclos de gelo e degelo (20 °C e -15°C). Veiga et al. (2000) apenas constataram avarias nas amostras nos ciclos de gelo e degelo, identificaram-se zonas de umidade na face posterior após o 5º ciclo e após a 10ª repetição a argamassa de revestimento estava completamente fissurada e danificada. Velosa e Veiga (2006) analisaram o histórico de temperaturas de Portugal para definir as temperaturas extremas dos ciclos de degradação. As amostras constituíam-se por blocos cerâmicos isolados revestidos por diferentes argamassas e sem restrições laterais. Os



autores concluíram que as argamassas com pozolana mostram, em geral, boa resistência aos choques térmicos, contudo não conseguiram determinar adequadamente a aderência do sistema.

Hayashi et al. (1993<sup>4</sup>, apud ESQUIVEL, 2009) realizaram avaliações semelhantes as dos trabalhos nacionais. Os autores estudaram a resistência de aderência de revestimentos cerâmicos após submetê-los de 0 a 100 choques térmicos, utilizando amostras com base de concreto e concreto celular, com dimensões de 3x2 m. Hayashi et al. (1993, apud ESQUIVEL, 2009) identificaram comportamento distinto para cada substrato: nas amostras de concreto celular não houve nenhuma redução da resistência de aderência e na de concreto com densidade normal a resistência de aderência reduziu de forma exponencial, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Alteração da resistência de aderência do revestimento cerâmico em substrato de concreto e concreto celular.



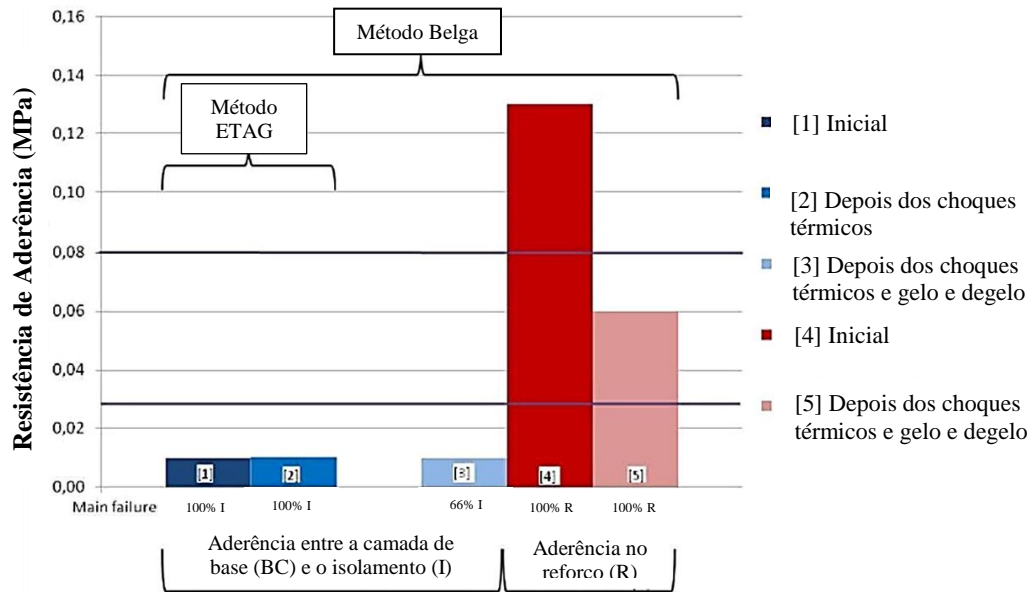
(adaptado de HAYASHI et al., 1993, apud ESQUIVEL, 2009)

Dirkx e Gregoire (2012) avaliaram o desempenho de ETICS após submetê-los a métodos de envelhecimento acelerado. Os autores expuseram as amostras de lã mineral e EPS aos ciclos propostos na ETAG 004 e a choques mais severos, adaptados para o clima belga. Os corpos de prova possuíam 0,8x0,6 m e 1,1x0,8 m e não foram adotadas restrições laterais. Avaliou-se a aderência entre a camada base e o isolante e na zona do reforço para os 2 sistemas. Os choques térmicos segundo a ETAG 004 (EOTA, 2000) não geraram redução da resistência de

<sup>4</sup>HAYASHI, Y.; AOYAMA, T.; MATSUYAMA, M. Technique of application of fiber materials to exterior ceramic wall tiling. In: DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 6., 1993, Omiya: Japão.

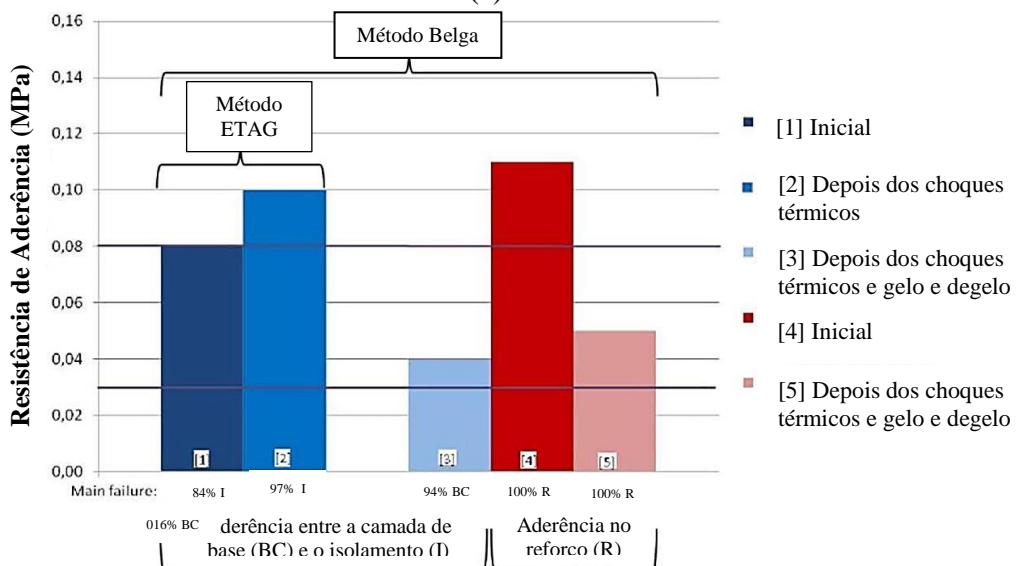
aderência entre a base e o isolamento, inclusive no sistema com EPS ocorreu um aumento desta resistência. Já nas adaptações feitas para as temperaturas belgas, a aderência reduziu nas duas zonas na amostra de EPS e na área de reforço no corpo de prova com lã mineral, conforme demonstra a Figura 13.

Figura 13 – Aderência de ETICS após exposição a ciclos de choques térmicos e exposição de gelo e degelo: (a) sistema com lã mineral e (b) sistema com EPS



ETICS: Aderência – Sistema com lã

(a)



ETICS: Aderência – Sistema com EPS

(b)

(adaptado de DIRKX E GREGÓIRE, 1993)

Topcu e Merkel (2008) colocam que a resistência de aderência entre o isolante e a camada base depende das propriedades da superfície do isolamento e da composição da base. Os autores também não identificaram, após cura de 28 dias e exposição a 140 ciclos de envelhecimento com temperatura máxima de 70°C, decréscimo na resistência de aderência entre essas camadas. Estas pesquisas mostraram que a resistência de aderência de um sistema não irá necessariamente reduzir após este ser submetido a ciclos de choque térmico ou outro procedimento de envelhecimento, em alguns casos pode inclusive apresentar uma majoração.

Nota-se que no cenário internacional também são adotadas amostras de variadas dimensões, desde reduzidas a um único bloco cerâmico até paredes de tamanhos reais. As condições de contorno destes corpos de prova variam em cada pesquisa, assim como a forma de impor tais limitações. Os trabalhos em geral não detalham quais parâmetros foram considerados para a determinação da condição de contorno das amostras.

### 3.3 CURA TÉRMICA DEVIDO AO CALOR DOS CHOQUES TÉRMICOS

Procedimentos que utilizam a incidência de calor em elementos à base de aglomerantes cimentícios podem ocasionar um ganho de resistência do material, quando esse é relativamente novo. Algumas pesquisas que avaliaram o envelhecimento ou desempenho de argamassas relataram ter observado tal comportamento.

Longhi (2012) identificou o aumento da resistência de aderência à tração de algumas de suas amostras, após mantê-las por 56 dias em uma câmara de envelhecimento acelerado. Contudo, os corpos de prova expostos por 112 dias ao sistema de degradação apresentaram uma redução dessa propriedade, mas ainda sim superior ao estado inicial. O autor atribui esse comportamento aos mecanismos de hidratação, que provavelmente não haviam acabado até o tempo de 56 dias. Destaca-se que antes do período na câmara de envelhecimento acelerado, os corpos de prova foram curados em câmara climatizada até o revestimento atingir 28 dias de idade.

Crescêncio e Barros (2003) também identificaram o aumento da resistência de aderência à tração após os choques térmicos, em algumas de suas amostras, tanto para revestimentos de camada única, quanto para os de monocamada. Quintela (2006), que também trabalhou com monocamadas, não conseguiu observar uma tendência para a resistência de aderência de suas

amostras, quando submetidas a envelhecimento acelerado. Alguns corpos de prova resultaram em uma melhora e outros sofreram uma redução desta resistência.

Esquivel (2009) observou, no início de seu programa experimental, que a resistência dos corpos de prova aumentou após a exposição aos choques térmicos. Portanto, o autor utilizou o conceito de tempo equivalente de Carino e Tank (1992<sup>5</sup>, apud ESQUIVEL, 2009) para igualar o tempo de cura das amostras de referência. Desta forma, esses elementos de controle passaram por cura térmica à 40 °C por 96 horas. Ainda assim, Esquivel (2009) observou uma resistência à compressão maior nos corpos de prova submetidos ao ensaio de desempenho do que nos de referência.

Saul (1951<sup>6</sup>, apud CARINO E LEW, 2001) introduziu o conceito de cura térmica para concretos à base de cimento Portland. O autor propôs que o índice de maturidade do material é função do tempo e temperatura ao qual foi exposto, assim a resistência de misturas idênticas será a mesma se o produto da temperatura pelo tempo também o for, independente da combinação. Desta forma, foi postulada a equação de Nurse-Saul (CARINO E LEW, 2011).

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \Delta t \quad \text{Equação (10)}$$

Onde,

M = índice de maturidade, em °C-horas ou °C-dias;

T = temperatura média, em °C, durante o intervalo  $\Delta t$ ;

$T_0$  = é a temperatura base;

$\Delta t$  = é o intervalo de tempo, em horas ou dias.

t = é o tempo decorrido, em horas ou dias.

A temperatura de base da fórmula é a mínima para que ocorram reações de hidratação e carbonatação do aglomerante (PERES et al., 2003). Carino e Lew (2001) colocam que o

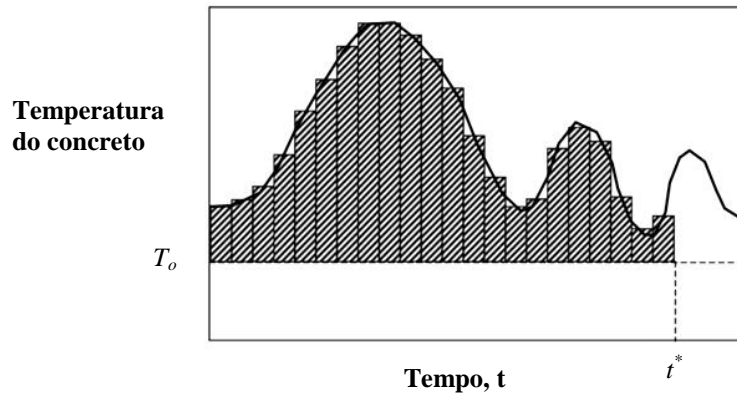
---

<sup>5</sup>CARINO, N. J.; TANK, R. C. Maturity functions for concrete made with various cements and admixtures. ACI Materials Journal, Farmington Hills, v. 89, n. 2, p. 188-196, Mar/Apr. 1992.

<sup>6</sup>SAUL, A. G. A. Principles Underlying the Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure, **Magazine of Concrete Research**. v. 2, n. 6, pp. 127-140, mar. 1951.

índice de maturidade, segundo a equação de Nurse-Saul, pode ser representado pela área abaixo da curva esquemática do histórico da temperatura pelo tempo, Figura 14.

Figura 14 - Curva da temperatura pelo tempo



(fonte: CARINO E LEW, 2001)

Atualmente existem métodos mais refinados para determinar a maturidade de concretos. Carino e Lew (2001) trazem um histórico de postulações para esse parâmetro, que adotam a energia de ativação. Essa energia descreve o efeito da temperatura na taxa de desenvolvimento da resistência. Temperaturas diferentes podem levar a resistências finais distintas, mesmo que o produto tempo x temperatura seja igual, especialmente quando há uma ampla variação. Porém, quando as temperaturas ocorridas são similares, não é necessária a utilização da energia de ativação no método.

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Esta pesquisa experimental foi estruturada a fim de contribuir para o entendimento do comportamento das argamassas de revestimento submetidas a choques térmicos, especificamente quanto às dimensões e condição de contorno dos elementos. Tendo em vista a influência das dimensões do elemento nas dilatações térmicas totais, as amostras possuem 3 tamanhos distintos, sendo esta uma variável controlável da pesquisa. Uma vez que o impedimento de tais expansões pode ocasionar tensões internas e que em situação real de uso os revestimentos de fachada encontram-se restringidos, a condição de contorno dos corpos de prova também foi abordada como fator controlável do trabalho. Assim sendo, os elementos de tamanho reduzido foram expostos a choques térmicos com suas bordas livres e confinadas. As amostras maiores foram ensaiadas apenas livres, pois se entendeu que devido a suas maiores dimensões, recomendadas em norma, estes corpos de prova possuem auto restrição às dilatações.

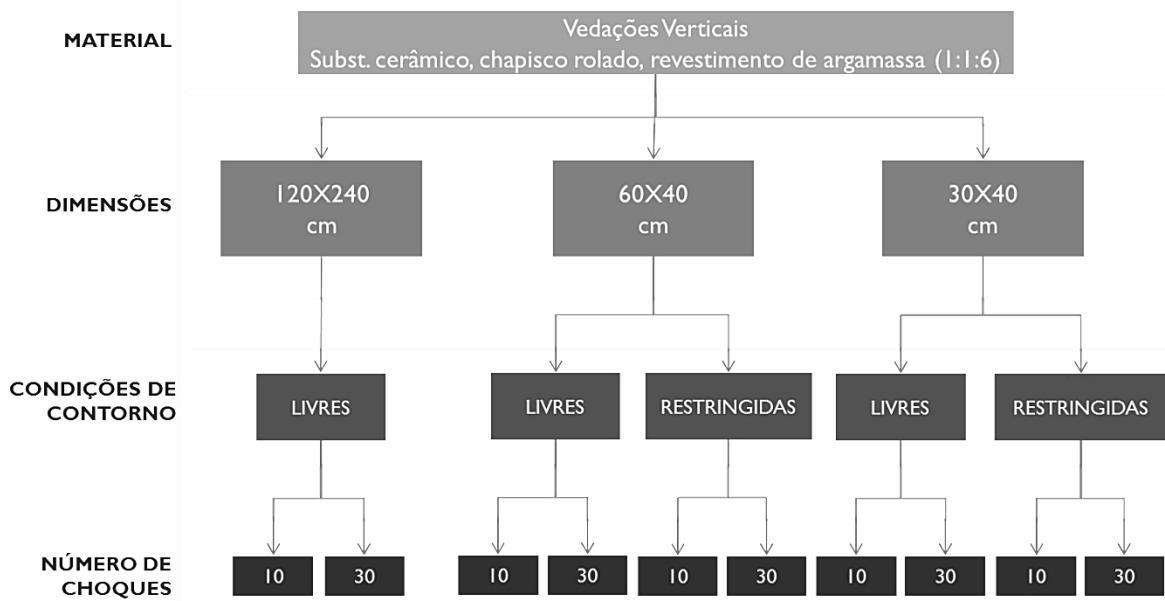
As amostras foram submetidas a choques térmicos segundo o procedimento da norma de desempenho NBR 15575, parte 4, anexo E (ABNT, 2013a). Adotaram-se dois níveis de repetições: 10 ciclos, número recomendado pela referida norma, e 30 ciclos, adotado também por Esquivel (2009) e Temoche e Barros (2010). Portanto, o programa experimental consiste em 3 variáveis controláveis, resultando em 10 combinações, conforme a Figura 15.

Adotou-se traço de 1:1:6, em massa de cimento, cal hidráulica e areia, com o objetivo de obter uma argamassa com alto módulo de elasticidade, potencializando desta forma as tensões durante o choque térmico, conforme explanado no item 2.3.2. Fiorito (1994) afirma que argamassas ricas, com traço de 1:3 em volume, possuem alto módulo de elasticidade, com cerca de 14 GPa. Este fator torna-se importante, na medida em que o presente trabalho busca identificar se há diferença nos níveis de degradação do revestimento das diferentes amostras. Desta forma, supõe-se que com maiores tensões a tendência comportamental de cada amostra será mais facilmente observada.

As amostras maiores, com 120 cm de largura e 240 cm de altura, possuem dimensões dentro dos limites recomendados pela NBR 15575 (ABNT, 2013a). As dimensões dos demais corpos de prova foram definidas pela modulação do bloco adotado, sendo que uma das combinações

possui a menor dimensão possível com a presença de junta e a outra é o dobro desta. A nomenclatura utilizada para os corpos de prova ao longo do trabalho refere-se a sua dimensão, condição de contorno e exposição aos choques, conforme o quadro 3.

Figura 15 – Variáveis de controle



(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 3 – Nomenclatura das amostras

Nomenclatura	Dimensão	Condição de contorno	Número de choques
<b>GL10</b>	<b>G</b> rande	<b>L</b> ivre	10
<b>GL30</b>	<b>G</b> rande	<b>L</b> ivre	30
<b>IL10</b>	<b>I</b> ntermediária	<b>L</b> ivre	10
<b>IL30</b>	<b>I</b> ntermediária	<b>L</b> ivre	30
<b>IR10</b>	<b>I</b> ntermediária	<b>R</b> estringida	10
<b>IR30</b>	<b>I</b> ntermediária	<b>R</b> estringida	30
<b>PL10</b>	<b>P</b> equena	<b>L</b> ivre	10
<b>PL30</b>	<b>P</b> equena	<b>L</b> ivre	30
<b>PR10</b>	<b>P</b> equena	<b>R</b> estringida	10
<b>PR30</b>	<b>P</b> equena	<b>R</b> estringida	30

(fonte: elaborado pela autora)

As variáveis de resposta escolhidas foram: a resistência de aderência à tração do revestimento, a fissuração, a permeabilidade e as dilatações observadas em momentos pré-determinados. Essas avaliações foram realizadas no estado inicial e após a exposição aos choques térmicos.

No intuito de reduzir a variabilidade, a idade do revestimento para cada momento de avaliação foi padronizada para todos os corpos de prova. Os ensaios em estado inicial foram executados aos 28 dias do revestimento, os choques térmicos foram iniciados aos 33 e os ensaios após a exposição foram realizados com 40 dias de idade. A Figura 16 esclarece a logística adotada para garantir a mesma idade em todas as amostras.

Figura 16 – Programação cronológica dos ensaios, evidenciando a idade dos revestimentos

	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
Semana 1			Execução do chapisco	Execução do revestimento			
Semana 2							
Semana 3							
Semana 4							
Semana 5				dia-28 Ensaio			
Semana 6		dia-33	Choques térmicos			dia-37	
Semana 7		dia-40 Ensaio finais					

(fonte: elaborado pela autora)

Neste capítulo, estão descritos os materiais e suas respectivas caracterizações, bem como os métodos utilizados para o desenvolvimento do programa experimental.

#### 4.1 MATERIAIS

Os materiais foram propostos buscando representar os sistemas de vedações verticais mais utilizados no país, alvenaria de bloco cerâmico revestida por uma camada de argamassa. Para confecção destes sistemas, optou-se por insumos de fácil acesso no mercado, sendo adquiridos sempre do mesmo lote.



### 4.1.1 Cimento

Para a confecção das argamassas de assentamento e revestimento, adotou-se cimento pozolânico CPIV-32, devido sua larga utilização no mercado regional. As propriedades deste material, fornecidas pelo fabricante, são dadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do cimento CPIV-32

Ensaio	Limites da norma	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	
Teores NBR 5736	PF (%) - NBR 8347	<=4,5	<b>3,3</b>	0,9	27,27	2	4,5
	MgO (%)	<=6,5	<b>4,8</b>	0,2	4,17	4,5	5,1
	SO <sub>3</sub> (%)	<=4	<b>2,3</b>	0,2	8,70	2	2,6
	RI (%) - NBR 8347	N/A	<b>30,5</b>	2,4	7,87	26,8	33,9
Finura NBR 11579	#200 (%)	<=8	<b>0,8</b>	0,2	25,00	0,3	1,2
	#325 (%)	N/A	<b>5,4</b>	0,9	16,67	3,4	7,1
Blaine NBR 11580	cm <sup>2</sup> /g	N/A	<b>4464</b>	291	6,52	4140	5260
Água de consistência NBR 11580	(%)	N/A	<b>33,8</b>	0,9	2,66	32,4	35,2
Tempo de Pega NBR 11581	Início (min)	>=60	<b>244</b>	38	15,57	170	295
	Fim (min)	<=600	<b>312</b>	40	12,82	230	360
Expansibilidade à quente NBR 11582	(mm)	<5	<b>0</b>	0	-	0	0
Resistência à compressão NBR 7215	3 dias (MPa)	>=10	<b>23,4</b>	2,8	11,97	20,3	29,3
	7 dias (MPa)	>=20	<b>28,7</b>	2,8	9,76	25,1	34,2
	28 dias (MPa)	>=32; <=49	<b>41,3</b>	2,9	7,02	37	48

(fonte: adaptado do fabricante)

Foram realizados ensaios de granulometria a laser, fluorescência de raio-X (FRX) e BET, no laboratório de materiais cerâmicos – LACER/UFRGS. A granulometria a laser indicou um diâmetro médio de 12,75 µm, o relatório do ensaio está no anexo A. A composição identificada através do FRX é exposta na Tabela 2. A área superficial específica foi determinada em 4,27 m<sup>2</sup>/g, o relatório encontra-se no anexo B.

Tabela 2 – Composição química do cimento

Elemento	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SrO	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rb <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
Quantidade (%)	37,97	34,88	8,67	5,92	2,94	2,00	1,98	0,87	0,19	0,15	0,12	0,10	0,05	0,05	0,01	4,10

(fonte: LACER/UFRGS)

### 4.1.2 Cal Hidráulica

Adotou-se cal hidráulica para execução das argamassas de assentamento e revestimento. Esta foi caracterizada através do ensaio de fluorescência de raio-X (FRX), que resultou a composição química exposta na Tabela 3. Também se identificou a área superficial deste material através de BET, cujo relatório encontra-se no anexo B, que resultou numa área superficial de 14,67 m<sup>2</sup>/g. Ambos os ensaios foram realizados no laboratório de materiais cerâmicos – LACER/UFRGS. Não foi possível realizar de forma adequada o ensaio de granulometria a laser para esse material, visto que o mesmo não apresentou boa dispersão durante o ensaio.

Tabela 3 – Composição química da cal hidráulica

Elemento	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SrO	CO <sub>2</sub>
Quantidade (%)	32,63	30,44	11,10	6,52	4,94	1,00	0,63	0,19	0,11	0,03	0,03	0,02	12,36

(fonte: LACER/UFRGS)

### 4.1.3 Areia

A areia utilizada para a confecção das argamassas é quartzosa proveniente do rio Jacuí, com diâmetro máximo de 2,36 mm. O módulo de finura da mesma, determinado segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2001), é dado na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição granulométrica e módulo de finura da areia

Peneira (mm) Série normal	Retido (%)	Acumulado (%)
2,36	5	5
1,18	8	13
0,60	19	32
0,30	38	70
0,15	28	98
fundo	2	100
Módulo de finura		2,18

(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.1.4 Blocos Cerâmicos

Os blocos cerâmicos empregados são do tipo estrutural, com superfície lisa e dimensões 29x19x9 cm. Esses elementos foram adquiridos para pesquisas anteriores, em 2012, e caracterizados nesta época. Para avaliar a integridade dos mesmos, repetiram-se os ensaios, obtendo-se valores dentro dos requisitos exigidos pela norma NBR 15270:2 (ABNT, 2005), expostos no quadro 03. Os resultados obtidos para cada unidade são apresentados no apêndice A.

Quadro 03 – Caracterização dos blocos cerâmicos

Característica	Requisito da Norma	2012	2016
<b>Medidas das faces – dimensões efetivas</b>	15270:2	Aprovado	Aprovado
<b>Espessura dos septos e paredes externas</b>	15270:2	Aprovado	Aprovado
<b>Planeza e Esquadro</b>	15270:2	Aprovado	Aprovado
<b>Absorção de água</b>	15270:2	Aprovado (média 12,37%)	Aprovado (média 11,95%)
<b>Resistência à compressão</b>	15270:2	Aprovado (média 7,58MPa)	Aprovado (média 8,96 MPa)

(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.1.5 Argamassas

As argamassas de assentamento e revestimento foram produzidas em laboratório, já para a de chapisco foi utilizada uma mistura industrializada. As argamassas foram reproduzidas de

forma idêntica em todos os corpos de prova. As caracterizações realizadas são descritas nos itens 4.1.5.1 a 4.1.5.3.

#### 4.1.5.1 Argamassa de Assentamento

A mistura para o assentamento possui traço 1:1:6, em massa com o agregado seco, e a relação água/cimento, de 1,22, foi definida a partir da trabalhabilidade da primeira argamassada e mantida nas demais. A consistência da argamassa de assentamento foi medida durante a confecção das amostras, segundo os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2005), identificando-se um espalhamento médio de 257 mm. Com o intuito de caracterizar esta argamassa em estado endurecido, corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm foram moldados. Os ensaios realizados, todos aos 28 dias, estão discriminados na Tabela 5, bem como os respectivos resultados.

Tabela 5 – Caracterização da argamassa de assentamento aos 28 dias

Ensaio	Norma/ unidade	Média	Desvio Padrão	Coef. de variação (%)
<b>Densidade Aparente</b>	NBR13280 (g/cm <sup>3</sup> )	1,91	0,01	0,57
<b>Módulo de Elasticidade dinâmico</b>	NBR 15630 (GPa)	12,58	0,28	2,23
<b>Absorção por capilaridade</b>	NBR 15259 (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>0.5</sup> )	0,75	0,05	6,04
<b>Resistência à tração na flexão</b>	NBR 13279 (MPa)	1,97	0,39	19,93
<b>Resistência à compressão</b>	NBR 13279 (MPa)	7,84	1,30	17,11

(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.1.5.2 Argamassa de Chapisco

Adotou-se um chapisco industrializado, necessitando apenas adição de água. O material consiste em uma mistura com alta fluidez, fato que inviabilizou o ensaio de consistência na mesa de queda, pois já durante a retirada do tronco de cone a argamassa espalhou-se por toda a superfície. A fim de caracterizar em estado fresco esta mistura, a densidade de massa foi determinada em 1,90 g/cm<sup>3</sup>, segundo o procedimento descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005). Para a caracterização em estado endurecido, foram moldados corpos de prova prismáticos de 4x4x16 e os resultados obtidos aos 28 dias são expostos na Tabela 6.

Tabela 6 – Caracterização da argamassa de chapisco aos 28 dias

Ensaio	Norma/ unidade	Média	Desvio Padrão	Coef. de variação (%)
<b>Densidade Aparente</b>	NBR13280 (g/cm <sup>3</sup> )	1,88	0,03	1,46
<b>Módulo de Elasticidade dinâmico</b>	NBR 15630 (GPa)	16,07	0,52	3,23
<b>Absorção por capilaridade</b>	NBR 15259 (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>0.5</sup> )	0,21	0,02	7,62
<b>Resistência à tração na flexão</b>	NBR 13279 (MPa)	3,93	0,42	10,71
<b>Resistência à compressão</b>	NBR 13279 (MPa)	10,14	1,63	15,94

(fonte: elaborado pela autora)

A argamassa de chapisco possui alta resistência mecânica e baixa absorção por capilaridade, se comparada às argamassas de assentamento e revestimento.

#### 4.1.5.3 Argamassa de Revestimento

Foi adotado o mesmo traço da argamassa de assentamento de 1:1:6, em massa. Tendo em vista a necessidade de uma trabalhabilidade maior do que a da argamassa de assentamento, a relação água/cimento foi estabelecida em 1,39, resultando no índice de consistência de 269 mm, determinado pelo espalhamento na mesa de queda. Essa relação foi mantida em todos os corpos de prova. Os ensaios realizados aos 28 dias e seus respectivos resultados são discriminados na Tabela 7.

Tabela 7 – Caracterização da argamassa de revestimento aos 28 dias

Ensaio	Norma/ unidade	Média	Desvio Padrão	Coef. de variação (%)
<b>Densidade Aparente</b>	NBR13280 (g/cm <sup>3</sup> )	2,01	0,04	1,96
<b>Módulo de Elasticidade dinâmico</b>	NBR 15630 (GPa)	15,72	1,10	6,98
<b>Absorção por capilaridade</b>	NBR 15259 (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>0.5</sup> )	0,50	0,08	16,39
<b>Resistência à tração na flexão</b>	NBR 13279 (MPa)	1,75	0,22	12,69
<b>Resistência à compressão</b>	NBR 13279 (MPa)	7,11	0,64	9,68

(fonte: elaborado pela autora)

Devido à indisponibilidade de equipamentos para caracterizar a argamassa em estado fresco durante a execução do revestimento, esta foi reproduzida no Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído, LAMTAC/UFRGS, com o mesmo traço e insumos. A Tabela 8 traz as características observadas para a argamassa reproduzida.

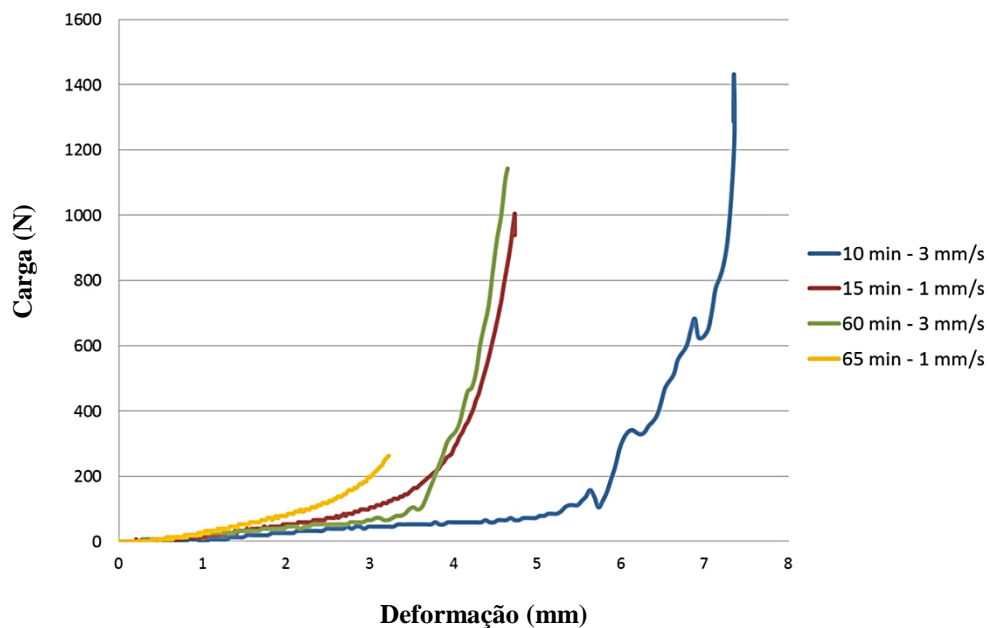
Tabela 8 – Caracterização em estado fresco na argamassa reproduzida

Ensaio	Norma	Parâmetro	
Densidade de massa	NBR 13278	Média (g/cm <sup>3</sup> ) 1,08	
Teor de ar incorporado	NM 48	15 min (%)	65 min (%)
		1,29	1,71
Retenção de água	NBR 13277	A/F	Ra
		0,15	94,46

(fonte: elaborado pela autora)

Através do ensaio de *squeeze-flow* realizado, Figura 17, nota-se que predominam os estágios II, deformação plástica, e III, enrijecimento por deformação (CARDOSO et al., 2005).

Figura 17 – Curvas obtidas com o Squeeze Flow



(fonte: elaborado pela autora)

No estágio II, a argamassa é capaz de sofrer grandes deformações sem o aumento significativo de carga, comportamento que favorece a produtividade, enquanto o estágio III dificulta a aplicação, uma vez que é necessário um aumento exponencial da carga (CARDOSO et al., 2010). Fica evidente que a argamassa em análise passa do estágio II para o estágio III em cargas acima de 200 N.

## 4.2 METODOLOGIA

Os itens seguintes apresentam a metodologia adotada para a confecção das amostras, exposição aos choques térmicos e ensaios de avaliação.

### 4.2.1 Confecção das Amostras

Os corpos de prova consistem em protótipos de paredes de blocos cerâmicos, com chapisco industrializado e argamassa dosada em laboratório. Para avaliar a influência das dimensões das amostras expostas a choques térmicos, estas foram confeccionadas em 3 tamanhos distintos. Para as dimensões de norma, com 120 cm de largura e altura equivalente ao pé-direito, foram produzidos 3 corpos de prova. Já para as amostras intermediárias, 60 cm de largura e 40 cm de altura, foram confeccionados 9 exemplares e para avaliar as menores dimensões, 30 cm por 40 cm, moldaram-se 24 corpos de prova, 18 para os choques e 6 para amostras de referência, que foram submetidas a uma cura térmica.

#### 4.2.1.1 Assentamento dos blocos

Todos os protótipos foram confeccionados no mesmo período, as amostras maiores foram produzidas em 2 dias, sendo executadas 7 fiadas no primeiro dia e 5 no segundo. Esses elementos foram assentados sobre bandejas metálicas e posteriormente ligados às bordas superiores por barras metálicas, garantindo a estabilidade e auxiliando o transporte, como demonstrado na Figura 18.

As juntas de assentamento foram executadas com aproximadamente 1 cm de espessura. A cura dos protótipos foi respeitada em no mínimo 14 dias, como preconiza a NBR 7200 (ABNT, 1998), antes da execução do chapisco. Contudo, o local onde se manteve os corpos de prova nesse período não era climatizado.

Figura 18 – Confeção das amostras: (a) assentamento das paredes com dimensões de norma e (b) amostras já assentadas

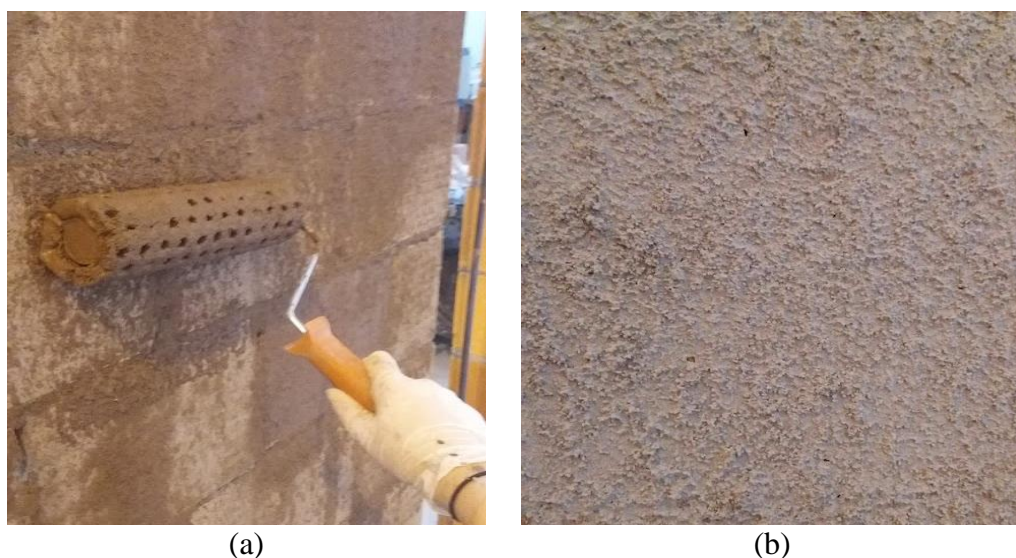


(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.2.1.2 Aplicação de chapisco nos protótipos

As amostras foram chapiscadas no intuito de obter uma maior uniformização da absorção do substrato e uma superfície rugosa, reduzindo a variabilidade e promovendo a aderência. A mistura foi realizada manualmente, na proporção de 10:2,55 (produto:água) em massa, conforme indicação na embalagem. A aplicação consistiu em movimentos de vai e vem na vertical com rolo texturizado, 24 horas antes da execução do revestimento, segundo as orientações contidas na embalagem do produto. A Figura 19 mostra a aplicação da mistura e a textura obtida.

Figura 19 – Chapisco: (a) aplicação com rolo e (b) aspecto da textura final



(fonte: elaborado pela autora)



#### 4.2.1.3 Execução do revestimento de argamassa

Adotou-se um equipamento de projeção para a execução do revestimento, visando maior uniformidade de lançamento, tendo em vista que a energia de aplicação da argamassa influencia diretamente na aderência da mesma ao substrato. O equipamento utilizado foi um projetor de operação por spray a ar comprimido, conhecido comercialmente por “canequinha”, onde a argamassa é acondicionada em um recipiente e, através de ar pressurizado, lançada sobre o substrato, conforme ilustra a Figura 20.

Adotou-se a pressão de 100 Psi no ar comprimido utilizado. Inicialmente, para avaliar o desempenho do equipamento escolhido, executou-se um revestimento com igual traço sobre substrato de blocos cerâmicos, Figura 20 (a). Neste teste, a argamassa foi confeccionada com relação a/c de 1,22, resultando em uma argamassa com pouca trabalhabilidade para esse procedimento, portanto na execução das amostras adotou-se uma maior relação a/c. A resistência de aderência à tração deste protótipo resultou em 0,55 MPa, contudo observou-se uma alta variabilidade de 41,60%.

Figura 20 – Execução do revestimento: (a) teste do equipamento e (b) execução em uma das amostras grandes



(a)



(b)

(fonte: elaborado pela autora)

Para a argamassa dos corpos de prova que iriam ser submetidos aos choques, a mistura foi realizada em betoneira de eixo vertical e a relação água/cimento foi fixada 1,39 em todos, para obter uma melhor trabalhabilidade. A projeção ocorreu de forma que a canequinha estivesse em um ângulo de 90° com a superfície e mantivesse uma distância de 15 a 20 cm, para que a energia de aplicação se mantivesse idêntica em todos os pontos.

Ao final da projeção, a argamassa foi desempenada com desempenadeira plástica, resultando na aparência exibida na Figura 21. A espessura final do revestimento foi definida em 2,0 cm, pois menores espessuras são mais sensíveis às tensões térmicas (ESQUIVEL, 2009) e encontra-se dentro do intervalo recomendado pela NBR 13749 (ABNT, 2013b).

Figura 21 – Aspecto visual do revestimento acabado



(fonte: elaborado pela autora)

O revestimento das amostras reduzidas foi executado em 2 lotes, o primeiro para exposição a 10 choques e o segundo para 30 choques. Os elementos foram dispostos lado a lado e a argamassa foi lançada como se todos os elementos fossem uma única peça, tal como ilustra a

Figura 22. Após o desempenho do revestimento, removeu-se o excesso de argamassa na parte superior das amostras e a divisão foi feita com colher de pedreiro.

Figura 22 – Execução do revestimento: (a) e (b) projeção da argamassa e (c) corpos de prova separados



(a)



(b)



(c)

(fonte: elaborado pela autora)

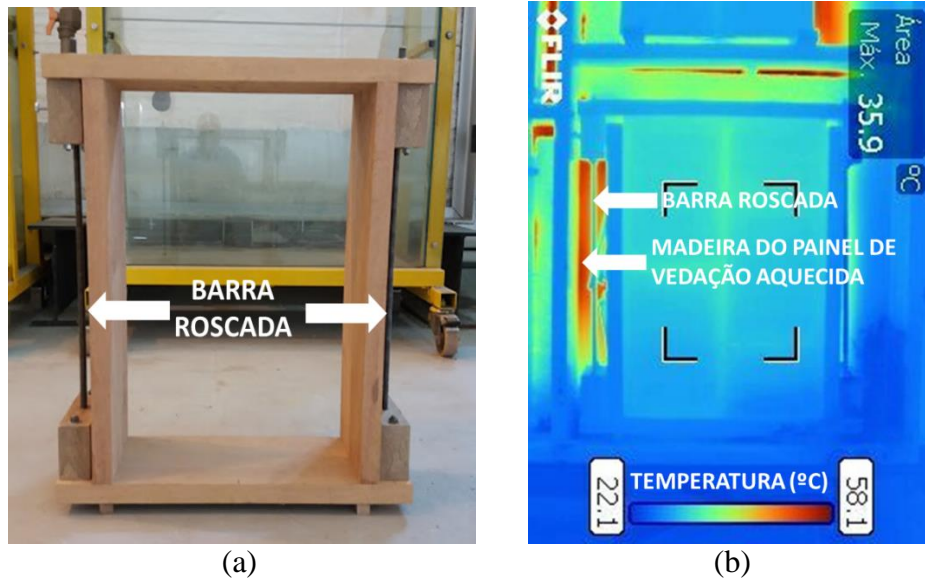
### 4.2.2 Restrições às dilatações

O sistema de restrição foi confeccionado totalmente em madeira, pois este material apresenta baixo coeficiente de dilatação térmica e desta forma apresenta variações lineares e volumétricas inferiores às da argamassa. O coeficiente de dilatação térmico das madeiras é diferente entre as direções das fibras, longitudinal e radial, sendo o coeficiente radial em geral muito superior ao longitudinal. Para a direção paralela às fibras, o coeficiente de dilatação térmica das madeiras está entre  $3$  e  $5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e aparentemente não é dependente da espécie da madeira (MORESCHI, 2014). Para que não ocorresse compressão ou flexão nos elementos, buscou-se uma madeira com alta dureza. A escala usualmente utilizada para mensurar essa propriedade é a Janka, dada em Newtons. Há uma grande diferença entre cada tipo de madeira, a cedrorana, por exemplo, possui dureza próximo a 3900 N, já o angelim amargoso possui uma dureza transversal de 6800 N, e o jatobá cerca de 11180 N (NAHUZ, 2013). Dada a maior facilidade de aquisição do angelim, optou-se por essa madeira para a construção das restrições.

Para evitar que a água, utilizada para o resfriamento dos corpos de prova, provocasse o inchamento da madeira, a mesma foi impermeabilizada por completo. Para tal, empregou-se um verniz marítimo, material comumente adotado em decks de piscina, propiciando também proteção contra o calor.

As restrições consistem em molduras para os corpos de provas, confeccionadas de maneira que permitissem um ajuste aos elementos. Essa regulagem ocorre através de 4 parafusos e 2 barras roscadas que atravessam a peça, conforme mostra a Figura 23 (a). Estes elementos de ajuste não foram sujeitos à mesma temperatura do revestimento, pois estavam recuados da face exposta ao calor, sendo esta diferença de temperatura perceptível nas imagens termográficas capturadas durante o ensaio, Figura 23 (b).

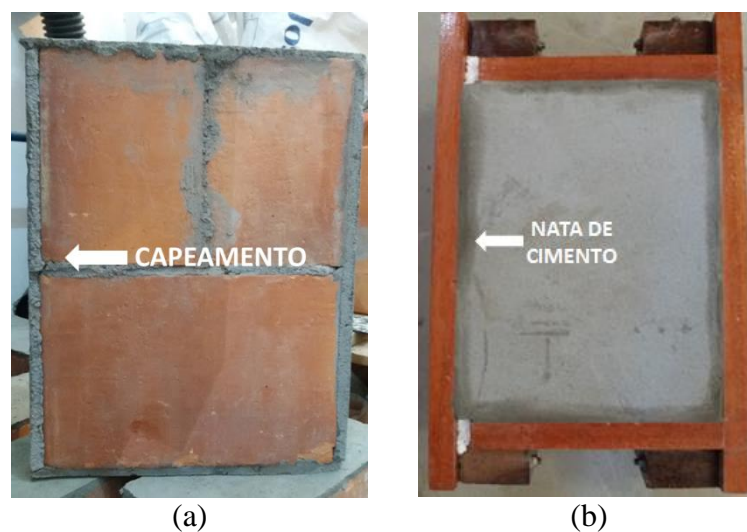
Figura 23 – Sistema de restrição: (a) moldura e (b) imagem termográfica do conjunto durante o ensaio



(fonte: elaborado pela autora)

Para que ocorresse o contato completo dos corpos de prova com a madeira da restrição, estes tiveram suas laterais capeadas, Figura 24 (a), e no momento da montagem foi utilizada uma pasta de cimento para preencher qualquer possível falha no contato. As molduras de madeira foram colocadas nos corpos de prova 5 dias antes do início dos choques térmicos, com o revestimento de argamassa já curado por pelo menos 28 dias.

Figura 24 – Aspecto visual do sistema de restrição: (a) corpo de prova capeado e (b) conjunto corpo de prova e restrição



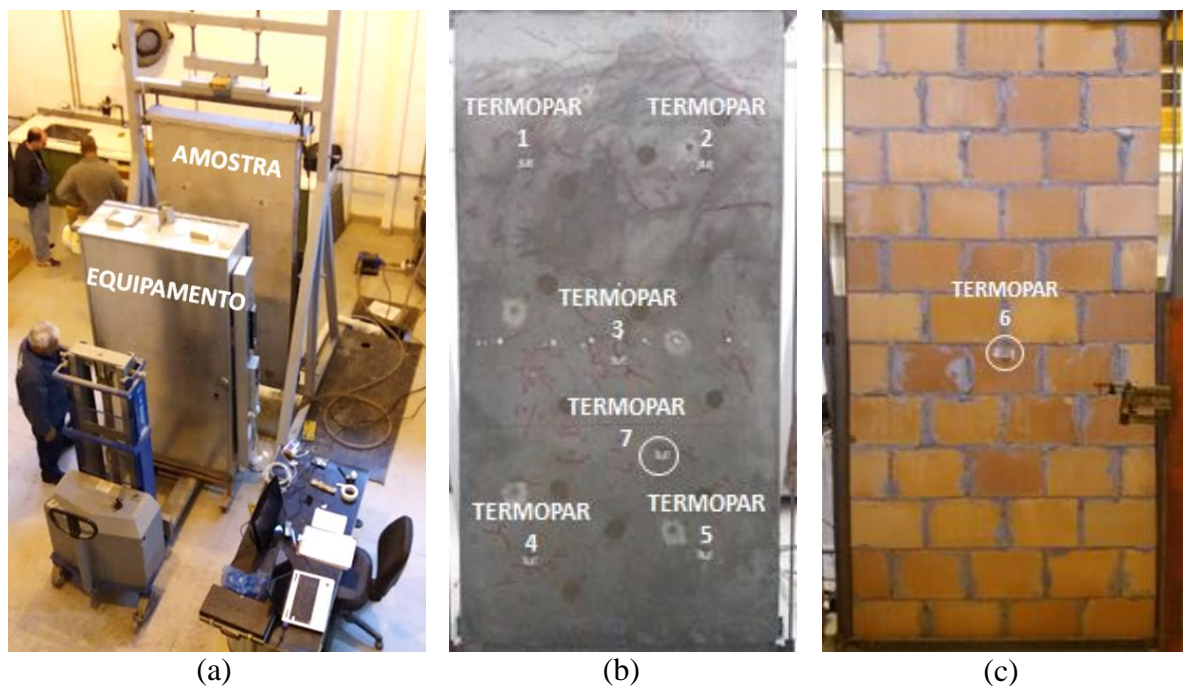
(fonte: elaborado pela autora)

### 4.2.3 Ensaio de Choque Térmico

Todas as amostras foram submetidas a choques térmicos, seguindo as diretrizes contidas no anexo E da norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013a), descrito brevemente no item 3.1. Foi utilizado um equipamento construído no Laboratório de Ensaios em Modelos Estruturais, LEME, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, desenvolvido especificamente para este fim. Neste aparelho, a amostra permanece imóvel, suportada por um pórtico metálico que permite a aproximação da câmara do equipamento, conforme a Figura 25 (a).

O aquecimento é proporcionado por resistências instaladas na parte inferior da câmara, que é termicamente isolada. A temperatura foi registrada através de termopares em 6 pontos da superfície do corpo de prova, 5 destes na face ensaiada e 1 no centro da superfície oposta ao choque, Figura 25 (a) e (b). Como regulador da temperatura para o acionamento ou desligamento das resistências há um sétimo termopar, circulado na Figura 25 (b), cuja programação e temperatura são exibidas no corpo do equipamento, Figura 26 (a).

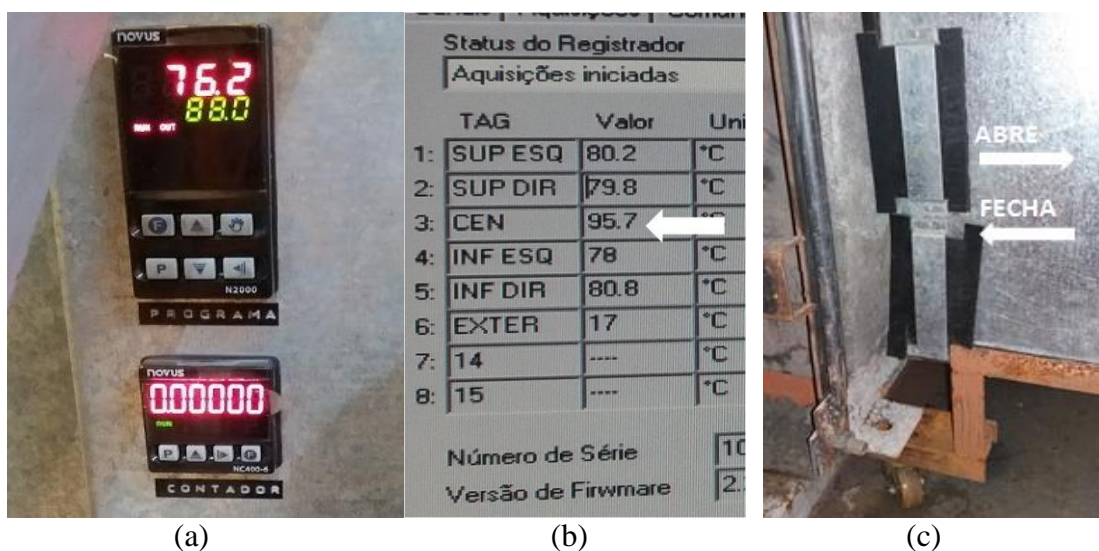
Figura 25 – Instrumentação para o ensaio de choque térmico: (a) aproximação do equipamento ao corpo de prova, (b) localização dos termopares na face ensaiada e (c) termopar na face oposta



(fonte: elaborado pela autora)

O aquecimento da amostra ocorre de forma desigual, com discrepâncias entre a temperatura de cada ponto, com a região central em geral mais aquecida que as demais, conforme mostra a leitura dos termopares na Figura 26 (b). Para amenizar essa desuniformidade, o equipamento possui aberturas nas extremidades, Figura 26 (c), que quando manipuladas redirecionam o fluxo de calor.

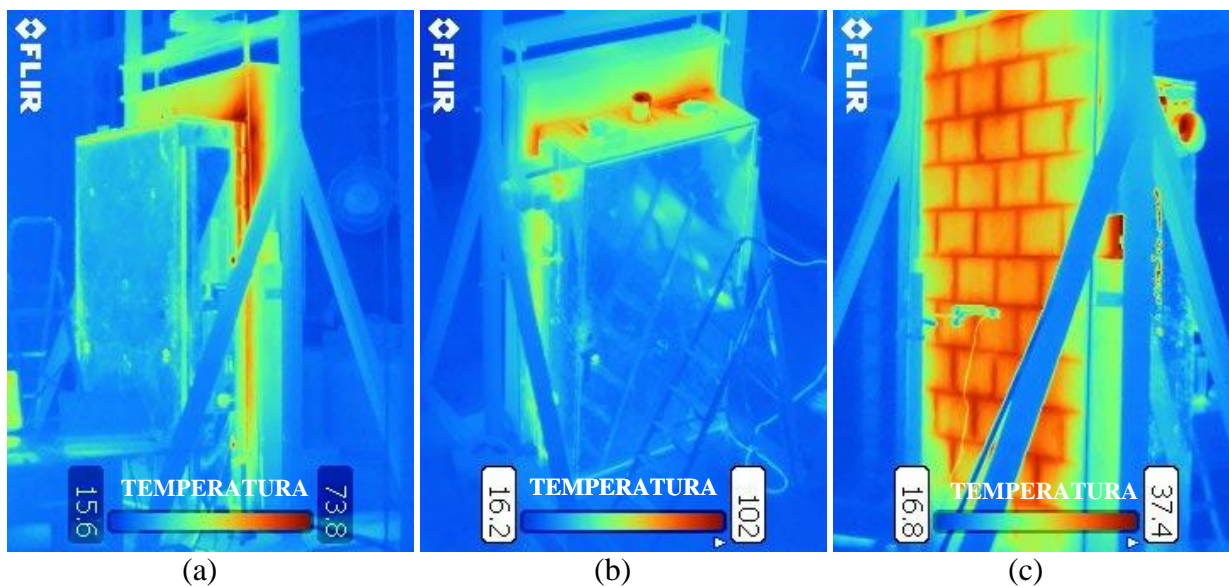
Figura 26 – Detalhes do procedimento para o choque térmico: (a) controle do termopar regulador, (b) indicações das temperaturas e (c) aberturas para direcionamento de fluxo de calor



(fonte: elaborado pela autora)

Possíveis pontos de fuga do calor, ou mesmo fluxos criados propositalmente, foram identificados e registrados através de imagens termográficas. A face oposta ao choque térmico também foi registrada por este método, facilitando a visualização da distribuição de calor nesta superfície. Desta forma, foi possível identificar as extremidades em temperatura inferior à região central. Na Figura 27, as regiões em tons de vermelho escurecido marcam as zonas com maior temperatura, as áreas mais claras estão em temperaturas mais baixas de forma gradual do amarelo para o azul. É possível perceber, pela escala de temperatura indicada nas imagens (b) e (c), que o calor na face oposta ao aquecimento é consideravelmente inferior, mostrando um bom isolamento térmico do sistema.

Figura 27 – Registros com a câmera termográfica: (a) fluxo de calor, (b) fuga de calor e (c) distribuição do calor na face oposta



(fonte: elaborado pela autora)

O choque térmico ocorre através da aspersão de água resfriada a 12 °C, com vazão de aproximadamente 19 litros por minuto. Após o término do período de 1 hora a 80 °C, aciona-se manualmente uma bomba que inicia o resfriamento. A água utilizada no processo passa por um filtro e retorna ao compartimento de resfriamento, para reutilização. Em média, o tempo total para atingir os 20 °C, preconizados na NBR 15575 (ABNT, 2013a), é de 5 minutos. Cada choque tem duração entre 100 e 150 minutos, dependendo do tempo necessário para atingir os 80°C na amostra. O primeiro choque realizado no dia tem maior duração, pois a amostra está com umidade distinta à que apresentará nos demais ciclos. São necessários até 90 min para atingir 80 °C nesse choque, enquanto os demais atingem tal temperatura em aproximadamente 40 min. Em cada dia foram realizados até 6 choques térmicos.

Para que as amostras reduzidas pudessem ser ensaiadas, foi preciso construir um dispositivo que permitisse acoplar os corpos de prova à máquina de ensaio. Esse consiste em prateleiras suportadas por 3 montantes verticais, sendo vedados os vãos entre os corpos de prova. Utilizou-se a mesma madeira adotada para a execução das restrições das amostras. Na parte superior, manteve-se um espaço livre para o encaixe da empilhadeira, facilitando assim o transporte do conjunto, como ilustrado na Figura 28. Ao todo, o dispositivo comporta 2 amostras intermediárias, uma restringida e uma livre, e 4 amostras pequenas, 2 restringidas e 2 livres.



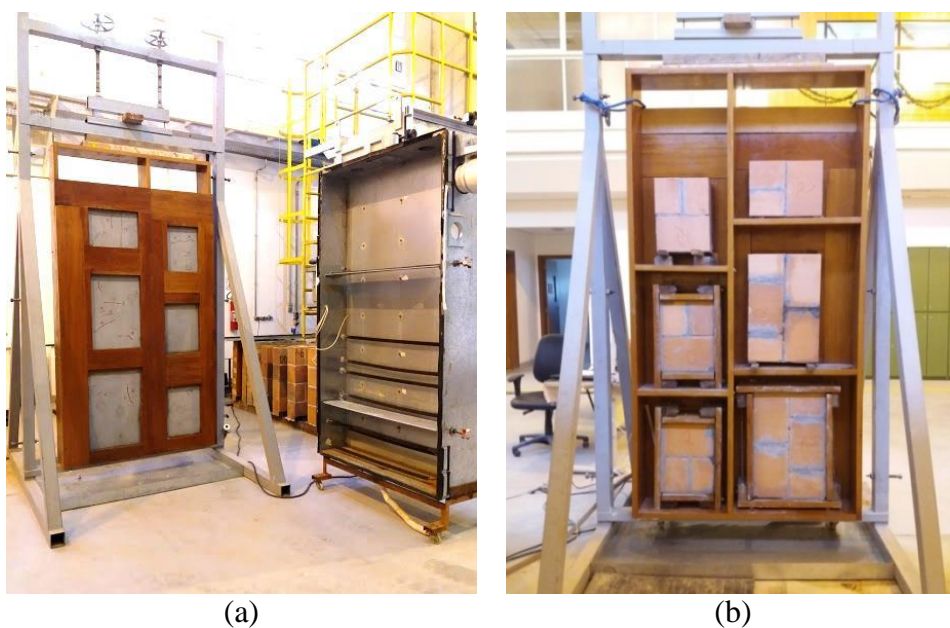
Figura 28 – Dispositivo para acoplar as amostras



(fonte: elaborado pela autora)

Desta forma, os corpos de prova foram expostos aos choques térmicos em 2 lotes. Da mesma forma que as amostras grandes, o dispositivo com os protótipos reduzidos ficou fixo ao pórtico, conforme a Figura 29.

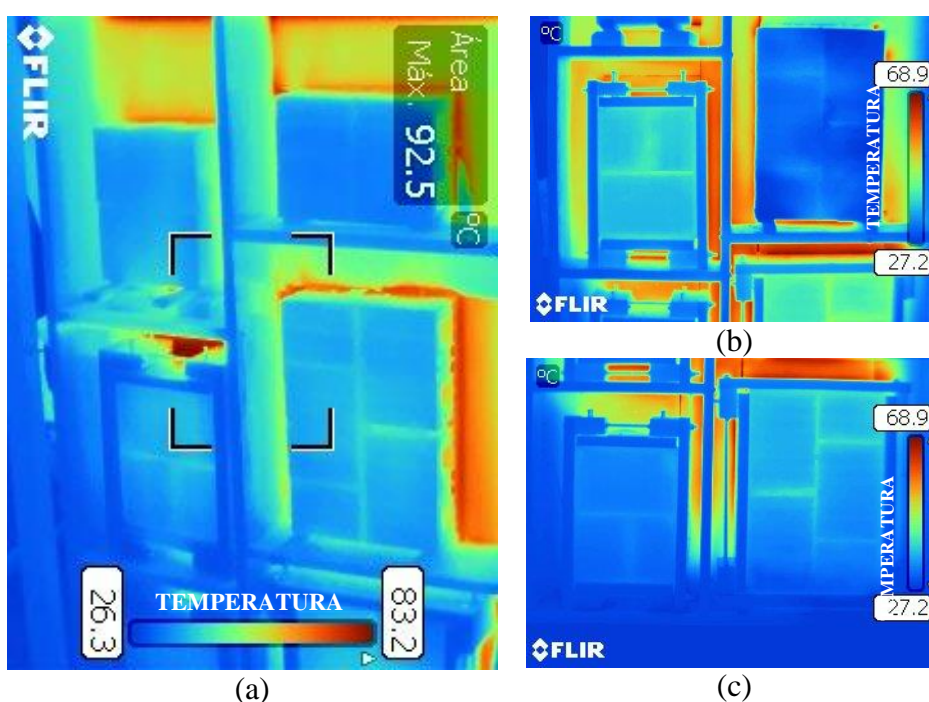
Figura 29 – Dispositivo para choque das amostras menores: (a) vista frontal e (b) lado oposto ao choque



(fonte: elaborado pela autora)

Os intervalos entre os corpos de prova e o dispositivo permitiam parcialmente a passagem de calor, apesar de terem sido vedados com mastique. A madeira do sistema apresentou uma condução de calor muito maior que os elementos cerâmicos, comprovado pelas imagens termográficas (Figura 30). Esse comportamento contribuiu para uma maior uniformidade na temperatura na superfície das amostras, pois auxiliou a eliminação de calor da região central, geralmente mais aquecida.

Figura 30 – Imagens termográficas: (a) visão geral da parte de trás, (b) amostras no centro e (c) amostras na parte de baixo



(fonte: elaborado pela autora)

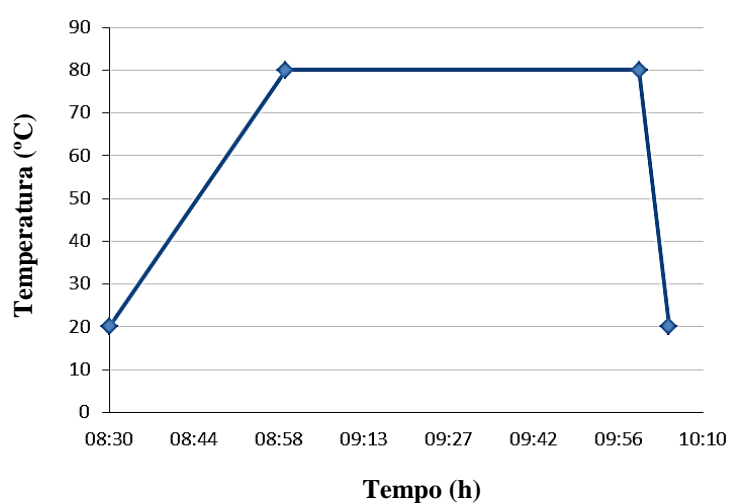
#### 4.2.4 Monitoramento da temperatura versus o tempo

A temperatura ao longo dos ciclos foi analisada através da curva temperatura versus tempo de cada uma das amostras. A Figura 31 representa um ciclo com as temperaturas teóricas de norma, considerando 30 min de aquecimento e 5 min para o resfriamento. A área abaixo de cada uma destas curvas foi adotada como parâmetro para mensurar a energia recebida por cada corpo de prova.

Adotando o intervalo de tempo em dias, a área sob a curva de um choque é igual a 4,55 em dias.°C. Desta forma, as áreas para os ensaios com 10 e 30 choques teriam teoricamente

entorno de 45 e 135 dias.°C, respectivamente. Contudo, devido às discrepâncias de temperatura, esta área apresentou variações entre as amostras, inclusive no mesmo corpo de prova ocorreram diferenças entre cada zona. A Tabela 9 mostra este parâmetro para os 3 corpos de prova com dimensões de norma. Calculou-se a área para a temperatura lida em cada um dos 5 termopares dispostos na face da amostra. Nota-se que a região central apresenta uma área maior em todos os exemplares. Dado que o tempo é o mesmo nos 5 pontos, fica claro que esta zona foi mais aquecida em todos estes casos.

Figura 31 – Curva teórica de temperatura x tempo de 1 choque



(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 9 – Área da temperatura pelo tempo para as amostras grandes

Amostra	Área Superior Esquerda	Área Superior Direita	Centro	Área Inferior Esquerda	Área Inferior Direita	Área media (dia°C)
<b>GL10a</b>	64,26	55,12	65,39	61,51	60,02	61,26
<b>GL10b</b>	46,18	45,86	51,09	44,74	44,38	46,45
<b>GL30</b>	150,60	138,06	169,50	140,75	157,43	142,20

(fonte: elaborado pela autora)

Nas amostras menores, foi realizada apenas uma leitura por elemento, conforme consta na Tabela 10. A amostra intermediária livre, IL, resultou em maior área que as demais nos 2 lotes ensaiados, pois estava disposta no centro da máquina, como mostra a Figura 29 (b).

Tabela 10 – Área da temperatura pelo tempo para as amostras reduzidas

Amostras	PL 1 (dia.°C)	PL 2 (dia.°C)	IL (dia.°C)	IR (dia.°C)	PR 1 (dia.°C)	PR 2 (dia.°C)	Área média (dia.°C)
<b>Lote 1</b> <b>10 choques</b>	57,23	52,54	65,78	52,04	58,65	53,27	56,90
<b>Lote 2</b> <b>30 choques</b>	136,62	137,59	145,27	129,46	135,41	118,36	133,78

(fonte: elaborado pela autora)

## 4.2.5 Variáveis de Resposta

Foram realizadas avaliações no estado inicial e após os choques térmicos, no intuito de apurar possíveis alterações nas propriedades das amostras. Para tal, adotaram-se como parâmetros de análise a resistência de aderência à tração, a fissuração e permeabilidade das amostras. Ademais, mediram-se as dilatações dos diferentes corpos de prova.

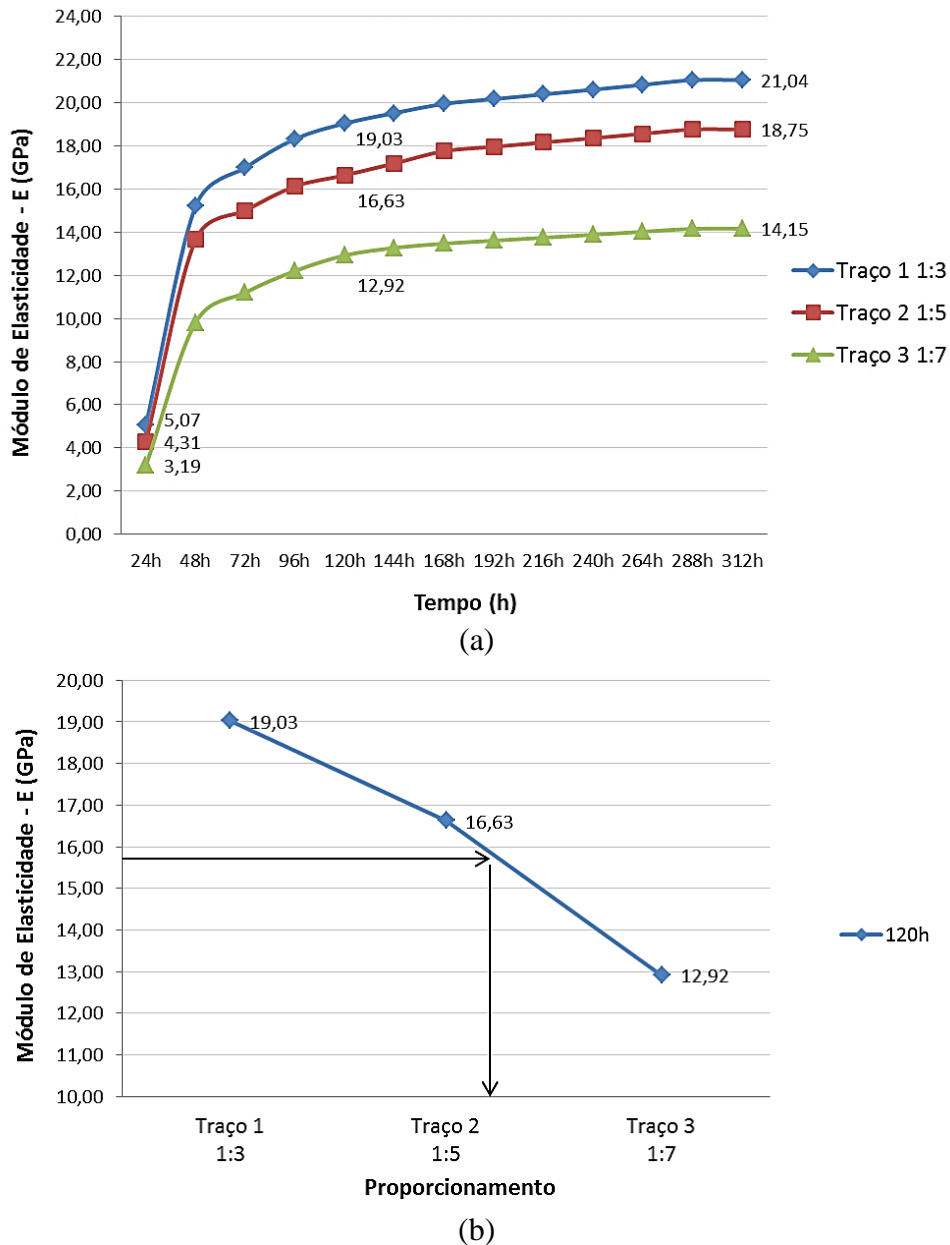
### 4.2.5.1 Análise da resistência de aderência à tração

Para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração, foram seguidas as recomendações da norma NBR 13528 (ABNT, 2010). Nos corpos de prova com dimensões normalizadas, 120x240cm, o estado inicial da resistência de aderência do revestimento foi mensurado na própria parede que sofreria os choques térmicos. Portanto, os pontos de extração foram recuperados antes do início dos ciclos, para manter a integridade do revestimento. Dado que inserções com módulo de elasticidade diferenciado aumentam a resistência a fissuras frente aos choques térmicos, conforme comentado no item 2.3.2, buscou-se para esta recomposição uma argamassa que em poucos dias atingisse um módulo compatível com a argamassa de revestimento. Para tal, foram analisados 3 traços de argamassa com cimento CPV, devido ao seu ganho rápido de resistência. Os traços escolhidos foram 1:3, 1:5 e 1:7 (cimento: areia, em massa). Manteve-se a consistência fixa em 180 mm de espalhamento na mesa de queda, desta forma a relação água/cimento foi inversamente proporcional à porcentagem de aglomerante.

Determinou-se a evolução do módulo de elasticidade nos primeiros dias, onde ocorreu uma variação inferior a 5% do quarto para o quinto dia e conforme nota-se na Figura 32 (a), o traço 1 rapidamente ultrapassou a rigidez desejada. Como as amostras foram submetidas aos choques térmicos quando os pontos recompostos completavam 120 horas, foi determinado um traço intermediário com maior compatibilidade nesta idade, como ilustrado na Figura 32 (b).

Estando o traço 2 mais próximo ao módulo de 15,72 GPa da argamassa de revestimento, interpolou-se o valor buscado entre os traços 2 e 3, e o traço adotado foi de 1:5,43.

Figura 32 – Argamassa de recomposição: a) incremento do módulo de elasticidade nos primeiros dias e b) módulo de elasticidade dos traços com 120 horas

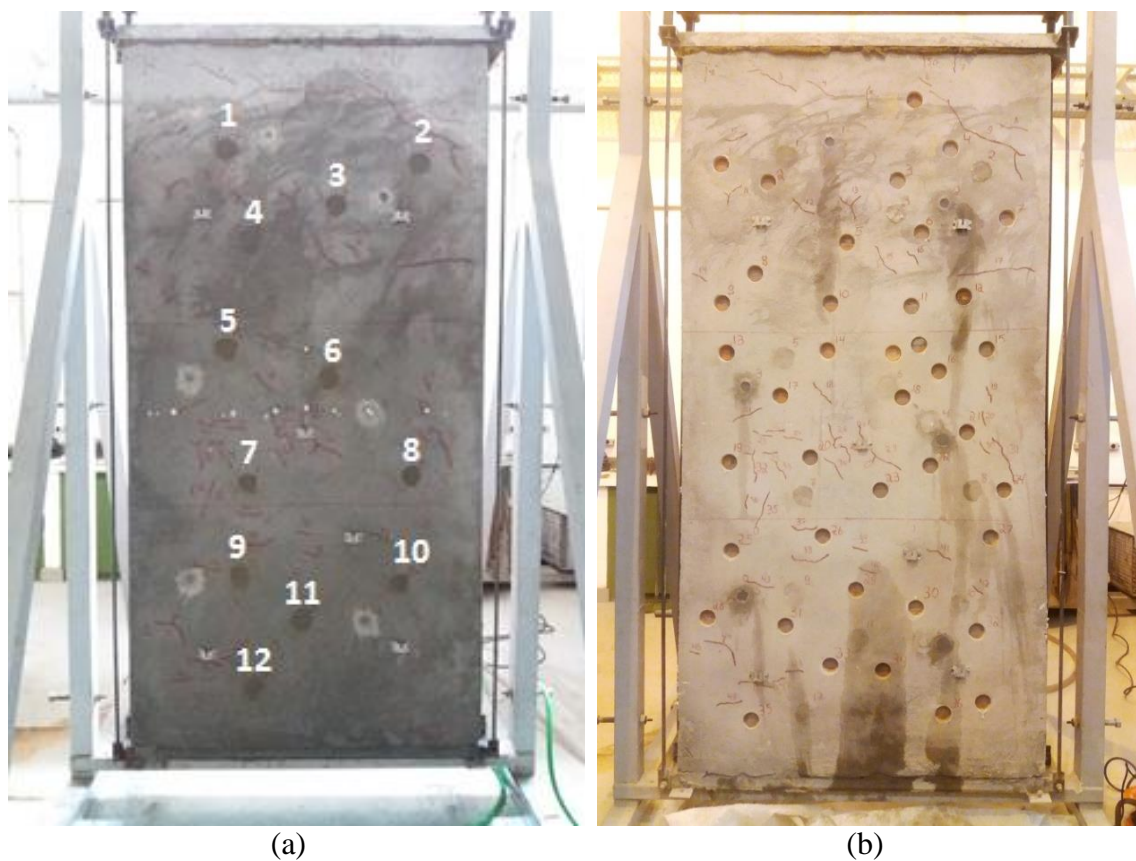


(fonte: elaborado pela autora)

Nas amostras grandes, para caracterizar o estado inicial foram realizadas 12 extrações em cada uma destas amostras, Figura 33 (a), e após os choques térmicos foram ensaiados 36 pontos em cada parede, Figura 33 (b). As extrações realizadas no estado final foram

posicionadas de forma a respeitar o espaçamento mínimo, indicado pela norma NBR 13528 (ABNT, 2010), dos pontos recuperados.

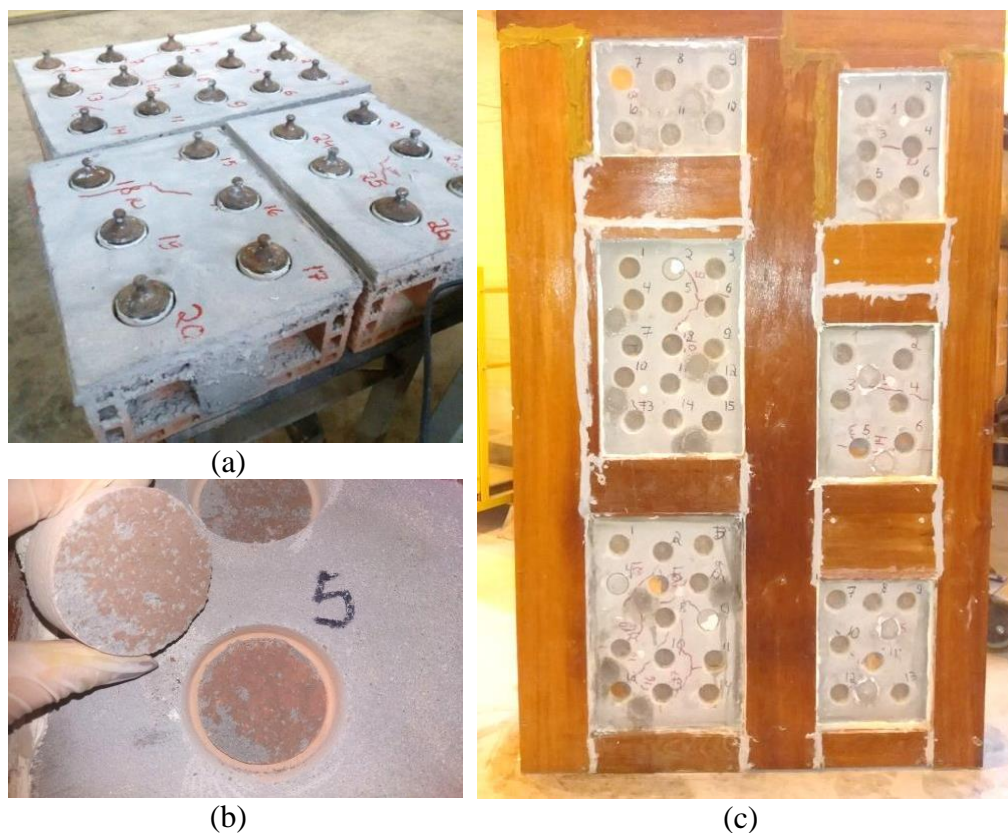
Figura 33 – Pontos de extração nas amostras grandes: (a) estado inicial e (b) estado final, depois dos choques



(fonte: elaborado pela autora)

Nas amostras reduzidas, o estado inicial foi caracterizado em amostras irmãs, cujo revestimento foi executado junto aos corpos de prova a serem expostos aos choques. Assim, o estado inicial de resistência de aderência de cada lote é único, independente da amostra, seja intermediária livre, restringida, pequena livre ou restringida. Foram executados 2 lotes de amostras, lote 1 e 2, cujos corpos de prova foram expostos a 10 e 30 choques térmicos, respectivamente. Para o estado inicial foram realizadas 26 e 27 extrações para o lote 1 e 2, Figura 34 (a). Após o ensaio de desempenho, as amostras tiveram a resistência de aderência medida por 12 pontos em cada combinação, como mostra a Figura 34 (b). Destaca-se que as amostras apresentavam fissuração e, portanto, as pastilhas tiveram de ser posicionadas de maneira a evitá-las.

Figura 34 – Pontos de extração nas amostras reduzidas: (a) estado inicial, (b) detalhe de um arrancamento e (c) estado final, depois dos choques



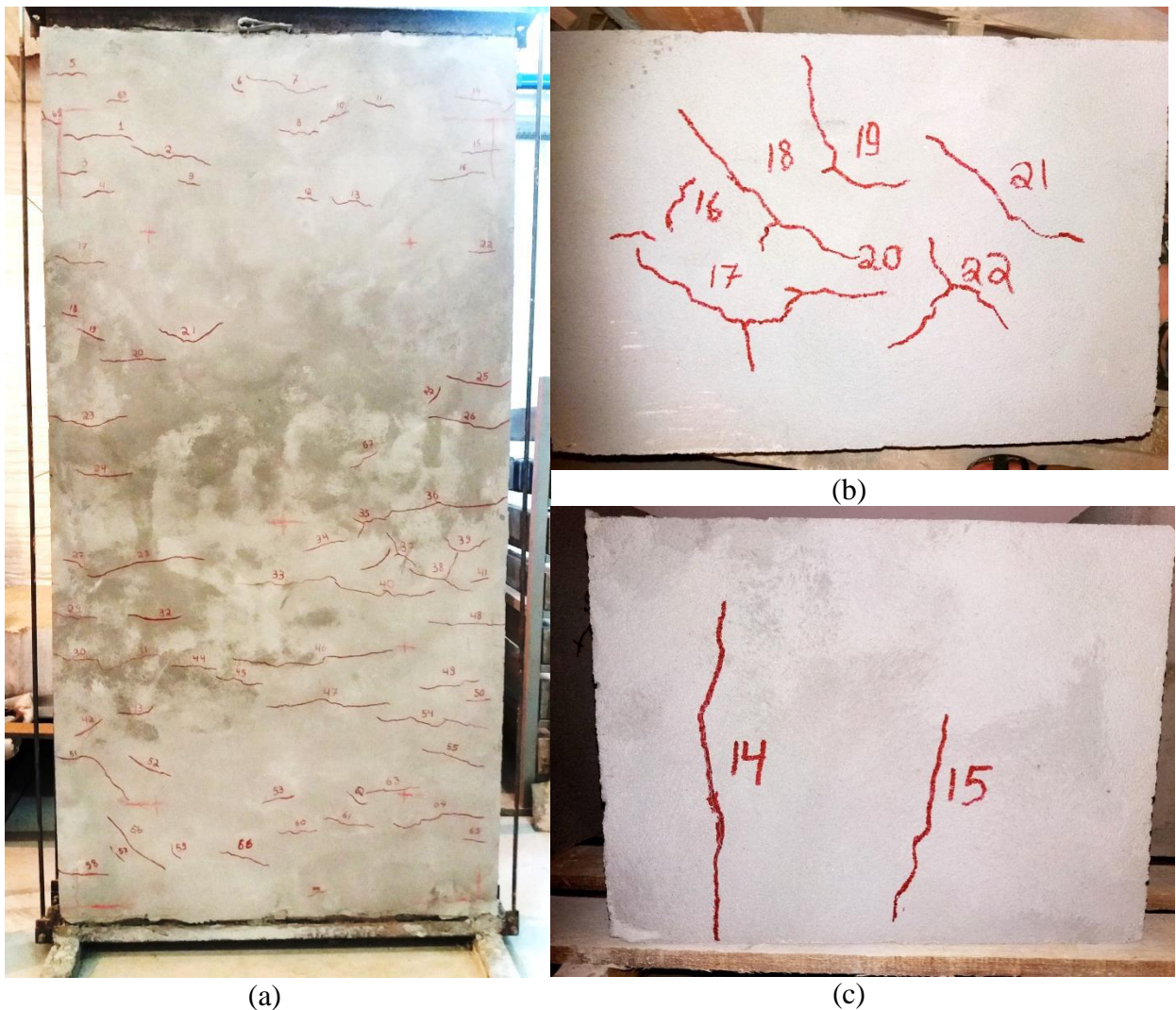
(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.2.5.2 Análise de fissuras

Para avaliar as fissuras, mensuraram-se todas as falhas visíveis a olho nu. Para contabilizar a extensão, empregou-se uma fita métrica flexível acompanhando as direções das aberturas. A espessura foi verificada com o uso de um fissurômetro, na maior seção aparente. As fissuras foram marcadas com caneta permanente para facilitar a análise posterior ao choque térmico, conforme a Figura 35.

Calculou-se o índice de fissuração em  $m/m^2$  para cada uma das amostras no estado inicial e após o ensaio de choque térmico. Para o índice de fissuração inicial das amostras pequenas, que foram executadas em 2 lotes, considerou-se a área de todas as amostras analisadas antes dos choques.

Figura 35 – Análise de fissuras: (a) fissuras estado inicial de uma amostra grande, (b) fissuras iniciais em amostra intermediária e (c) fissuras iniciais em amostra pequena



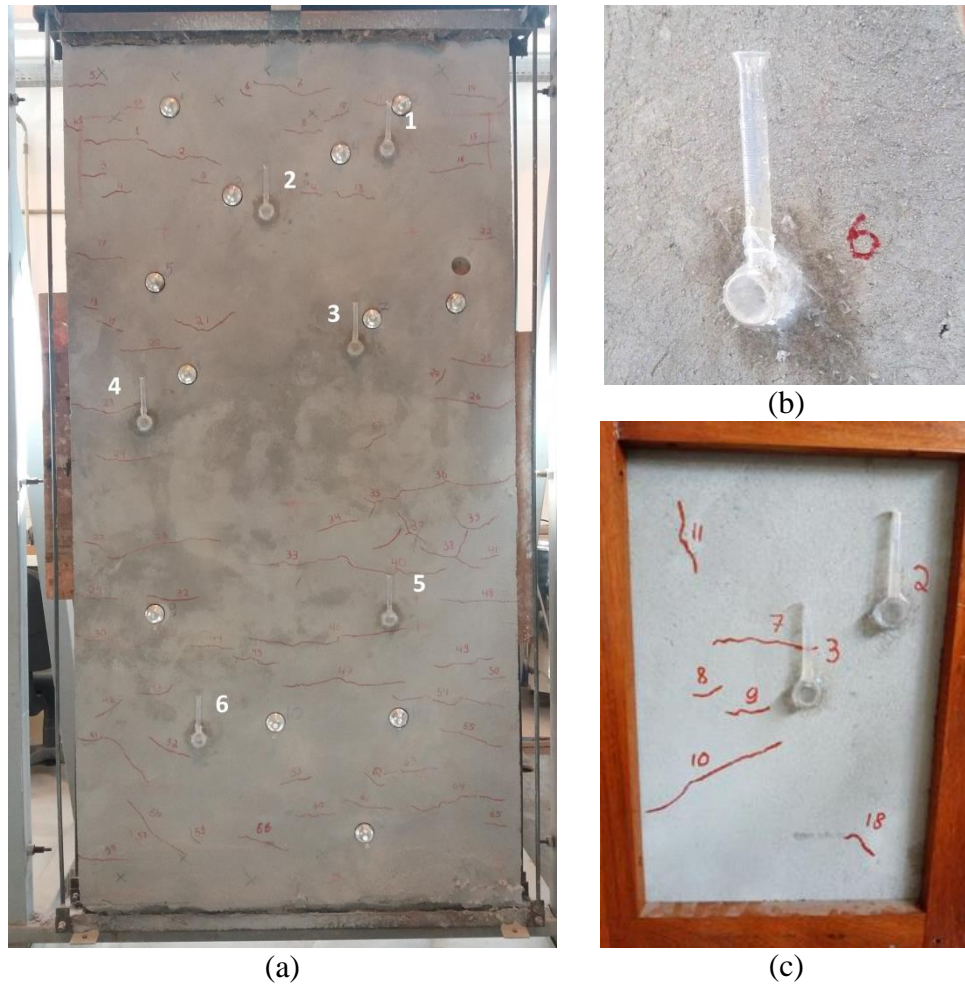
(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.2.5.3 Permeabilidade

A permeabilidade das amostras foi avaliada antes e após os choques térmicos, através do método proposto por CSTC/NIT 224 (CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, 2002). Este ensaio, conhecido como método do cachimbo, identifica a água absorvida por uma determinada área ao longo do tempo. Para tal, utilizou-se tubos de vidro calibrados, com capacidade para 4 ml, denominados tubos de Carsten ou cachimbos. Nas amostras grandes, a absorção foi medida em 6 pontos, Figura 36 (a), e nas amostras reduzidas adotou-se de 3 a 4 pontos. A fixação dos cachimbos foi feita com selante incolor, silicone, conforme ilustra a Figura 36 (b).



Figura 36 – Ensaio de permeabilidade: (a) inicial da amostra grande, (b) cachimbo utilizado e (c) 2 primeiros pontos da amostra intermediária



(fonte: elaborado pela autora)

O ensaio inicia com o preenchimento dos tubos com água, até a marca de 0 ml. O método recomenda que sejam realizadas medidas aos 5, 10 e 15 minutos, contudo registrou-se a água absorvida a cada 60 segundos, até o ensaio completar 15 minutos. Essa avaliação foi realizada sempre após o ensaio de resistência de aderência, para que a água absorvida não influenciasse os resultados desse ensaio.

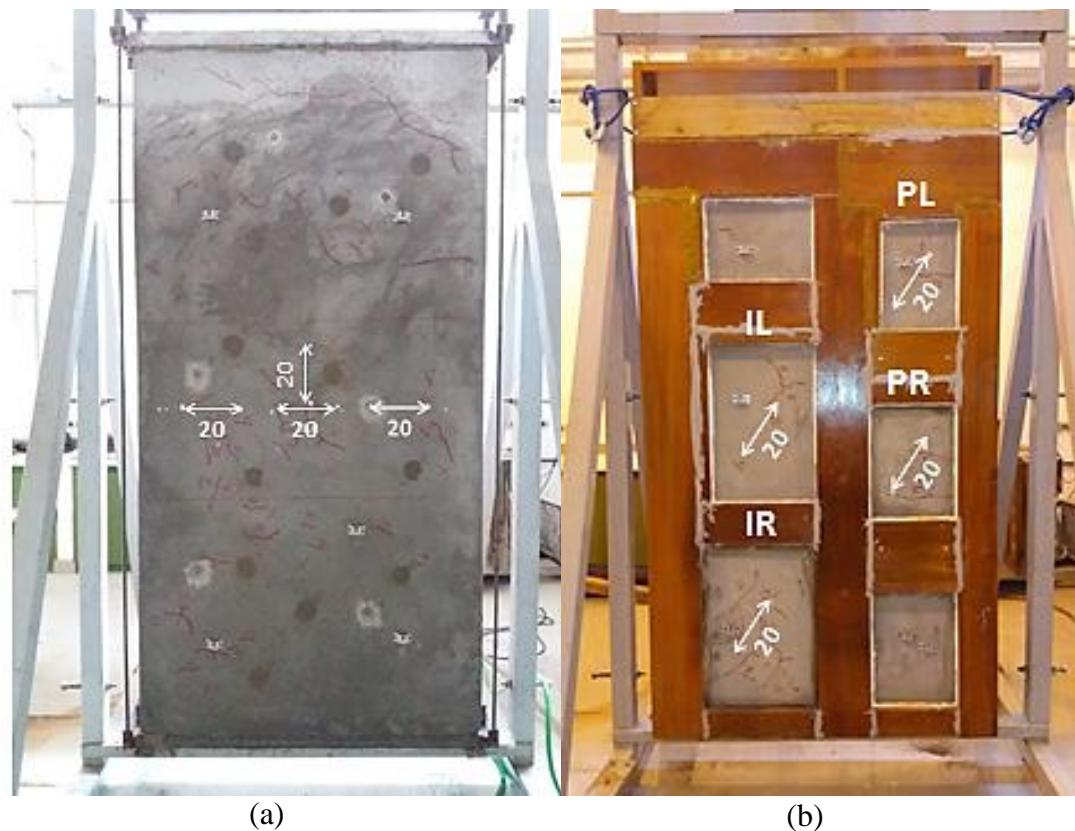
#### 4.2.4.4 Mensuração das variações lineares do revestimento

A condição de contorno ou mesmo o tamanho da amostra pode impedir a livre dilatação do revestimento. Para analisar possíveis diferenças nas variações lineares entre as amostras, registraram-se as dilatações e retrações das mesmas. Para tal, empregou-se um alongômetro e

pastilhas termofixas separadas a 20 cm de distância e a deformação da amostra foi determinada através da variação desta distância. Foram tomadas medidas em 4 momentos: antes do início do ensaio de desempenho, em temperatura ambiente; aos 45 minutos após atingir à 80 °C no primeiro choque; imediatamente após o resfriamento do último choque e no dia posterior ao término do ensaio.

Para as amostras grandes, os pontos de medição foram fixados a 120 cm da borda inferior, na direita, na esquerda e dois na região central, um ponto na vertical e outro na horizontal, conforme a Figura 37 (a). Nos corpos de prova pequenos, a borda lateral de madeira do dispositivo de apoio impedia a aproximação do alongômetro na horizontal, por esta razão optou-se por realizar a leitura na diagonal, Figura 37 (b).

Figura 37 – Posicionamento das pastilhas termo fixas: (a) na amostra grande e (b) nas amostras reduzidas



(fonte: elaborado pela autora)

## **5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Neste capítulo, são apresentados os resultados dos ensaios anteriormente descritos, bem como uma análise da influência das variáveis estudadas. Para a combinação GL10 foram ensaiadas duas amostras, pois na primeira a resistência de aderência antes dos choques térmicos não pôde ser determinada de maneira adequada. As duas amostras ensaiadas tiveram sua nomenclatura diferenciada por GL10a e GL10b.

### **5.1 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

Para todas as análises, foram considerados espúrios os valores distantes 2 desvios da média, para mais ou menos. Esses valores foram marcados pelo fundo cinza nas tabelas dos itens a seguir. Optou-se pela exclusão destes valores para reduzir a alta variabilidade observada. O resultado obtido no ensaio de resistência de aderência à tração é influenciado por diversos fatores, por exemplo, excentricidades da carga, formato do corpo de prova e mesmo a espessura da camada de cola (COSTA et al., 2007). Também podem ser fatores significativos o tipo de equipamento e a região do substrato onde o ensaio é realizado (COSTA et al., 2006). Portanto, geralmente o ensaio de resistência de aderência apresenta altos coeficientes de variação, da ordem de 10 a 35%, mesmo quando realizado em laboratório (GONÇALVES, 2004, p. 33). Antunes et al. (2012, p. [7]), ao analisarem a influência do tipo de equipamento, identificaram coeficientes de variação de mais de 60%. Na presente pesquisa, os choques térmicos adicionam ainda mais variabilidade a esse experimento, pois o aquecimento não ocorre de maneira uniforme na superfície das amostras. Para todas as análises estatísticas, adotou-se a confiabilidade de 95%.

#### **5.1.1 Resistência de aderência à tração inicial das amostras**

O estado inicial, mensurado antes dos choques térmicos, da resistência de aderência à tração das amostras grandes é apresentado na Tabela 11. As duas amostras apresentaram alta resistência de aderência aos 28 dias, acima do mínimo estabelecido pela NBR 13749 (ABNT, 2013b) para revestimentos externos. Apesar de não ter ocorrido uma uniformidade na forma de ruptura, essa se deu predominantemente na área de interface. Mesmo nos pontos de arrancamento onde a ruptura ocorreu na argamassa, essa ficou próximo ao substrato.

Conforme ilustra a Figura 38, apenas uma camada de argamassa com pequena espessura ficou aderida ao chapisco. Destaca-se que o chapisco utilizado possui coloração avermelhada.

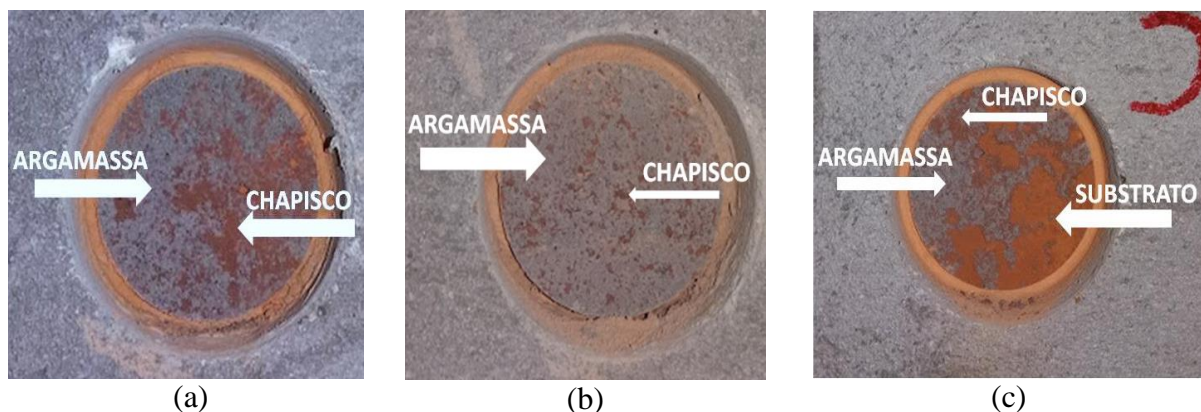
Tabela 11 – Aderência das amostras grandes livres antes dos choques, aos 28 dias

Amostra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Substrato	Zona da ruptura (%)			Argamassa
								Subst/Chapis	Chapisco	Chapis/Arg	
GL10b	1	0,68	0,64	0,18	28,52	bloco	0	0	0	50	50
	2	0,38				bloco	0	0	0	30	70
	3	0,51				bloco	0	60	0	25	15
	4	0,16				bloco	0	90	0	5	5
	5	0,44				bloco	0	30	0	30	40
	6	0,77				bloco	0	30	0	30	40
	7	0,72				bloco	0	0	0	50	50
	8	0,67				bloco	0	5	0	35	60
	9	0,47				bloco	0	5	0	45	50
	10	0,94				junta	0	0	0	60	40
	11	0,81				bloco	0	10	20	30	40
					Total	0,00	14,00	2,00	38,50	45,50	
GL30	1	0,61	0,61	0,10	16,21	bloco	0	0	30	70	0
	2	0,69				bloco	0	0	10	90	0
	3	0,68				bloco	0	10	15	50	25
	4	0,46				bloco	0	0	0	10	90
	5	0,65				bloco	0	5	10	75	10
	6	0,50				bloco	0	0	0	80	20
	7	0,78				bloco	0	0	50	50	0
	8	0,55				bloco	0	10	20	70	0
	9	0,67				bloco	0	0	50	50	0
	10	0,49				bloco	0	50	0	30	20
	11	0,55				bloco	0	30	0	30	40
	12	0,68				bloco	0	5	95	0	0
					Total	0,00	9,17	23,33	50,42	17,08	

GL10b: Grande livre exposta a 10 choques/ GL30: Grande livre exposta a 30 choques

(fonte: elaborado pela autora)

Figura 38 – Tipos de rupturas ocorridas: (a) na argamassa e chapisco, (b) predominantemente na argamassa e (c) na argamassa, chapisco e interface do chapisco com o substrato cerâmico



(fonte: elaborado pela autora)

A resistência de aderência à tração inicial, antes dos choques térmicos, das amostras intermediárias e pequenas foi mensurada em amostras irmãs às expostas aos choques. Essas amostras foram dispostas lado a lado e o chapisco e o revestimento foram executados como se essas fossem um único corpo de prova. Na Tabela 12, o lote 1 representa a aderência inicial

das amostras a serem expostas a 10 choques térmicos e na Tabela 13 o lote 2 representa a aderência antes dos choques das amostras expostas a 30 choques.

Tabela 12 – Resistência da aderência à tração inicial das amostras pequenas e intermediárias do lote 1, aos 28 dias de idade da argamassa

Amotra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Substrato	Zona da ruptura (%)			Argamassa
								Subst/Chapis	Chapisco	Chapis/Arg	
LOTE 1	1	0,90	0,65	0,18	27,31	bloco	0	0	0	60	40
	2	0,54				bloco	0	0	30	0	70
	3	0,91				bloco	0	0	20	10	70
	4	0,82				bloco	0	0	10	0	90
	5	0,70				bloco	0	0	10	50	40
	6	0,56				junta	0	0	20	20	60
	7	0,75				bloco	0	0	20	0	80
	8	0,87				bloco	0	15	5	0	80
	9	0,56				bloco	0	15	0	35	50
	10	0,38				bloco	0	0	40	10	50
	11	0,24				bloco	0	0	50	0	50
	12	0,47				junta	15	10	0	15	60
	13	0,54				bloco	0	0	20	0	80
	14	0,36				bloco	0	85	5	0	10
	15	0,62				junta	0	20	10	45	25
	16	0,86				bloco	0	0	70	10	20
	17	0,57				junta	0	15	0	0	85
	18	0,75				bloco	0	0	30	30	40
	19	0,92				bloco	0	0	20	10	70
	20	0,38				bloco	0	0	5	0	95
	21	0,76				bloco	0	0	20	0	80
	22	0,55				junta	5	0	20	0	75
	23	0,64				bloco	0	10	40	0	50
Total						0,91	7,73	17,95	13,41	60,00	

LOTE 1: representa o estado inicial das amostras IL10, IR10, PL10 e PR10

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 13 – Resistência da aderência à tração inicial das amostras pequenas e intermediárias do lote 2, aos 28 dias de idade da argamassa

Amotra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Substrato	Zona da ruptura (%)			Argamassa
								Subst/Chapis	Chapisco	Chapis/Arg	
LOTE 2	1	0,61	0,57	0,17	29,18	bloco	0	0	5	0	95
	2	0,43				junta	0	0	10	40	50
	3	0,53				bloco	0	0	20	0	80
	4	0,73				bloco	0	0	50	10	40
	5	0,56				junta	0	0	5	35	60
	6	0,55				bloco	0	0	50	30	20
	7	0,57				bloco	0	0	30	20	50
	8	0,51				junta	0	5	15	20	60
	9	0,93				junta	0	5	15	30	50
	10	0,43				bloco	0	25	5	30	40
	11	0,49				junta	0	0	15	5	80
	12	0,59				bloco	0	0	10	10	80
	13	0,35				bloco	0	5	25	25	45
	14	1,14				junta	2	0	3	5	90
	15	0,31				bloco	0	20	60	0	20
	16	0,50				bloco	0	5	40	15	40
	17	0,78				junta	5	10	30	25	30
	18	0,95				bloco	0	0	55	5	40
	19	0,64				bloco	5	0	65	10	20
	20	0,83				bloco	0	0	5	25	70
	21	0,52				bloco	0	5	30	35	30
	22	0,63				bloco	0	30	0	20	50
	23	0,46				junta	0	5	5	40	50
	24	0,61				bloco	0	0	15	5	80
	25	0,34				bloco	0	5	20	5	70
	26	0,40				junta	5	30	10	20	35
	27	0,67				bloco	0	0	0	5	95
Total						0,60	6,00	23,60	18,40	51,40	

LOTE 2: representa o estado inicial das amostras IL30, IR30, PL30 e PR30

(fonte: elaborado pela autora)

Através da análise estatística dos dados, comprovou-se que as resistências de aderência das amostras, antes dos choques, pertencem à mesma população. Na Tabela 14, a fonte “Aderência inicial” representa as aderências mensuradas antes dos choques para os distintos corpos de prova e esta não apresenta interferência estatística nos resultados. Portanto, as médias podem ser consideradas iguais, conforme indica a Figura 39. Esse gráfico evidencia, através dos pontos cinza, a dispersão dos resultados.

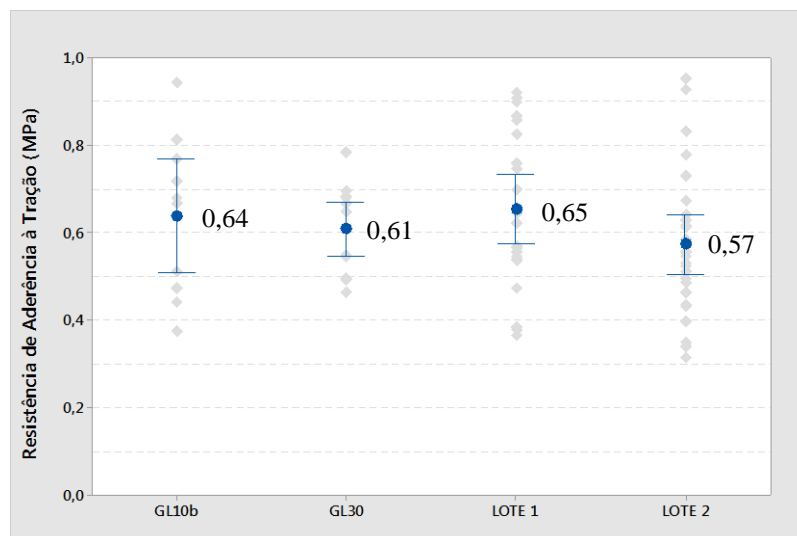
Tabela 14 – Análise de variância da resistência de aderência das amostras aos 28 dias, antes da exposição aos choques térmicos

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
Aderência inicial	0,08	3	0,03	1,10	35,6%	NÃO
Erro	1,68	66,00	0,03			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Figura 39– Comparação das médias da resistência de aderência à tração aos 28 dias, antes da exposição aos choques térmicos



(fonte: elaborado pela autora)

### 5.1.2 Resistência de aderência à tração após os choques térmicos

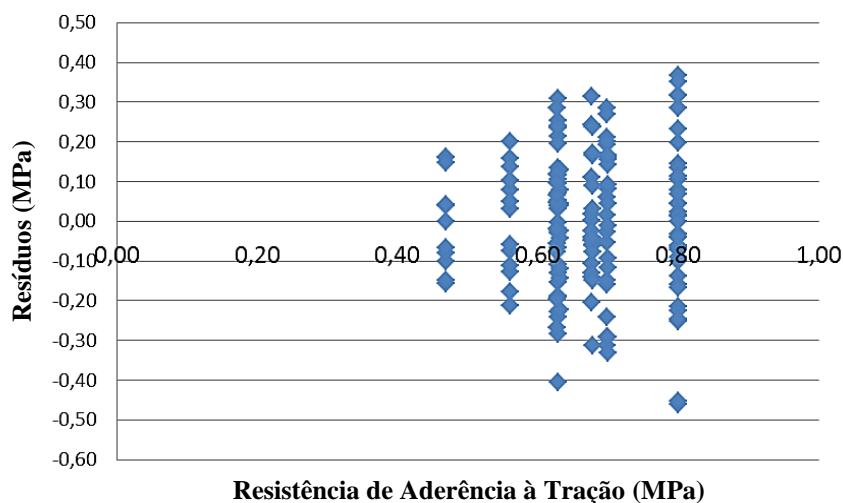
No item 5.1.2.1, apresenta-se uma análise dos resíduos dos resultados obtidos para o ensaio de resistência de aderência à tração. Os itens 5.1.2.2 e 5.1.2.3 trazem uma comparação da aderência observada após os choques térmicos com o estado inicial, para 10 e 30 choques,

respectivamente. No tópico 5.1.2.4, os valores da resistência de aderência à tração, obtidos após o ensaio de desempenho e já apresentados nos itens anteriores, são comparados entre si.

#### 5.1.2.1 Análise de resíduos

No intuito de observar o comportamento dos resultados obtidos para o ensaio de resistência de aderência à tração após os choques térmicos, verificando a sua uniformidade e aleatoriedade, os desvios residuais foram calculados. O desvio residual de um resultado é a diferença entre a resistência de aderência observada nesse ponto e a média da combinação ao qual faz parte. Na Figura 40, os desvios foram plotados contra as médias das respectivas combinações. Esses não apresentam uma tendência comportamental, indicando a aleatoriedade dos resultados. O maior espalhamento dos desvios no final do gráfico é provocado pela proporcionalidade dos mesmos ao valor da resistência, ou seja, quanto maior o valor da resistência de aderência à tração, maiores os desvios observados.

Figura 40 – Desvios residuais do ensaio de resistência de aderência à tração de todas as combinações

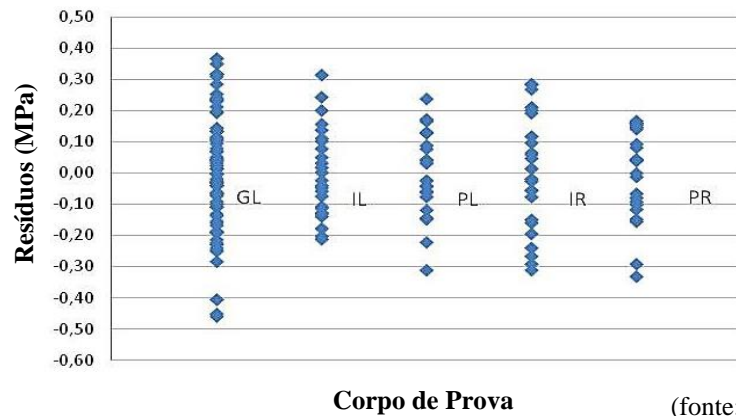


(fonte: elaborado pela autora)

Também é possível verificar a aleatoriedade dos dados através dos desvios residuais para cada fator controlável. As amostras grandes foram ensaiadas apenas na condição livre, como mostra a Figura 15, impossibilitando que a condição de contorno fosse analisada como um fator controlável único. Portanto, essa variável controlável foi combinada com a variável dimensões, gerando um fator com 5 níveis: grande livre; intermediária livre; intermediária

restringida; pequena livre e pequena restringida. Analisando este fator controlável, denominado na Figura 41 (a) como Corpo de prova, não há tendência comportamental nítida, existe apenas um maior espalhamento dos desvios para as amostras grandes, relacionado à maior média observada para essas amostras.

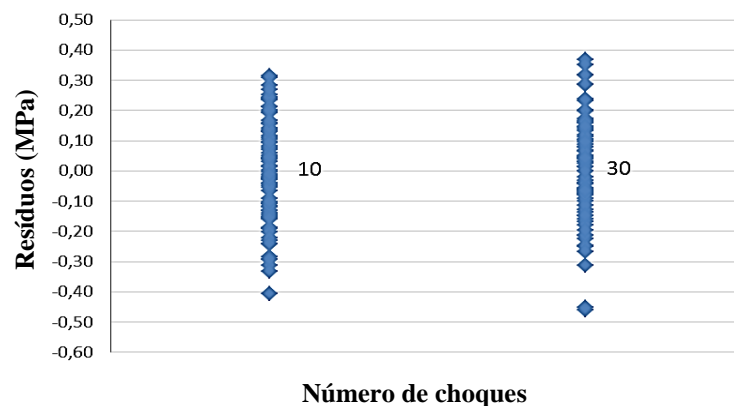
Figura 41 – Desvios residuais do ensaio de resistência de aderência à tração para os diferentes corpos de prova



(fonte: elaborado pela autora)

A dispersão dos resíduos para o número de choques, 10 e 30, ocorre de maneira uniforme, como mostra a Figura 42. Os desvios residuais indicam que os dados obtidos no experimento para avaliação da resistência de aderência à tração não apresentam formação de tendências, de modo que as respostas apresentam dispersão, em geral, uniforme para os fatores controláveis.

Figura 42 – Desvios residuais do ensaio de aderência para o fator controlável número de choques



(fonte: elaborado pela autora)



### 5.1.2.2 Apresentação da resistência de aderência à tração após 10 choques térmicos e comparação com o estado inicial

São apresentados na Tabela 15 os valores de resistência de aderência observados após a exposição a 10 choques térmicos na amostra grande, GL10b. A resistência de aderência média observada foi 0,63 MPa, sendo igual estatisticamente a média de 0,64 MPa mensurada para o estado inicial desta amostra, conforme a Tabela 16.

Tabela 15 – Valores da resistência de aderência à tração da GL10b, após os choques aos 40 dias

Amostra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Zona da ruptura (%)				
							Subst/Chapis	Chapisco	Chapis/Arg	Argamassa	
GL10b	1	0,22	0,63	0,18	28,70	bloco	0	90	0	5	5
	2	0,74				bloco	0	5	0	50	45
	3	0,88				bloco	0	0	0	10	90
	4	0,66				bloco	0	0	0	20	80
	5	0,76				junta	0	35	0	30	35
	6	0,67				bloco	0	10	0	40	50
	7	0,70				junta	0	10	0	40	50
	8	0,35				bloco	0	0	0	30	70
	9	0,47				junta	0	30	0	35	35
	10	0,52				bloco	0	40	0	30	30
	11	0,84				bloco	0	10	0	40	50
	12	0,39				junta	0	80	0	10	10
	13	0,14				junta	0	100	0	0	0
	14	0,12				junta	0	100	0	0	0
	15	0,56				bloco	0	0	0	50	50
	16	0,86				bloco	0	3	0	65	32
	17	0,18				junta	0	80	0	0	20
	18	0,68				bloco	0	0	0	55	45
	19	0,72				junta	0	5	0	80	15
	20	0,60				bloco	0	0	0	50	50
	21	0,87				bloco	0	3	0	60	37
	22	0,40				bloco	0	0	0	50	50
	23	0,44				bloco	0	0	0	40	60
	24	1,10				bloco	0	8	0	50	42
	25	0,94				bloco	0	20	0	40	40
	26	0,44				bloco	0	5	0	40	55
	27	0,44				bloco	0	0	0	50	50
	28	0,63				bloco	0	10	0	45	45
	29	0,73				bloco	0	20	0	40	40
	30	0,82				bloco	0	5	0	85	10
	31	0,50				bloco	0	0	0	55	45
	32	0,67				bloco	0	0	0	30	70
	33	0,52				junta	0	5	0	50	45
	34	0,87				junta	0	10	0	80	10
	35	0,61				bloco	0	0	0	60	40
	36	0,60				bloco	0	5	0	85	10
						Total	0,00	12,53	0,00	45,31	42,16

GL10b: Grande Livre exposta a 10 choques

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 16 – Análise de variância da aderência da amostra GL10b antes e após a exposição aos choques térmicos

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
<b>GL10b: antes e após os choques</b>	0,00	1	0,00	0,02	88,5%	NÃO
<b>Erro</b>	1,31	40,00	0,03			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Na Tabela 17, estão descritos os valores de resistência de aderência observados para as amostras intermediárias, após exposição a 10 choques térmicos. As duas amostras ensaiadas apresentaram aderências médias idênticas, apesar de possuírem condições de contorno diferentes.

Tabela 17 – Valores de resistência de aderência à tração das amostras intermediárias, após os choques térmicos, aos 40 dias

Amostra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Substrato	Zona da ruptura (%)			
								Subst/Chapis	Chapisco	Chapis/Arg	Argamassa
IL10	1	0,79	0,68	0,16	22,96	bloco	5	10	60	5	20
	2	0,99				junta	5	0	35	5	55
	3	0,92				bloco	5	0	50	25	20
	4	0,63				junta	0	10	50	10	30
	5	0,57				bloco	0	20	50	10	20
	6	1,17				bloco	0	10	40	20	30
	7	0,68				bloco	0	0	30	20	50
	8	0,47				bloco	5	10	70	5	10
	9	0,64				bloco	0	0	20	30	50
	10	0,54				bloco	5	0	50	5	40
	11	0,55				bloco	0	20	75	0	5
	12	0,65				bloco	2	3	45	10	40
	13	0,69				bloco	0	0	30	30	40
		<b>totais</b>	<b>2,25</b>	<b>6,08</b>	<b>47,08</b>	<b>12,92</b>	<b>31,67</b>				
IR10	1	0,41	0,70	0,21	30,03	bloco	5	0	70	10	15
	2	0,76				junta	5	0	30	40	25
	3	0,89				bloco	0	0	50	30	20
	4	0,54				bloco	0	10	30	30	30
	5	0,64				junta	0	10	20	50	20
	6	0,71				bloco	5	10	30	40	15
	7	0,98				bloco	0	0	40	20	40
	8	0,91				bloco	0	0	30	30	40
	9	0,97				bloco	0	0	20	20	60
	10	0,39				junta	0	0	20	30	50
	11	0,46				bloco	0	10	30	20	40
	12	0,55				junta	0	0	40	20	40
	13	0,67				bloco	0	10	60	5	25
	14	0,90				bloco	0	10	30	20	40
		<b>totais</b>	<b>1,07</b>	<b>4,29</b>	<b>35,71</b>	<b>26,07</b>	<b>32,86</b>				

IL10: Intermediária Livre exposta a 10 choques/ IR10: Intermediária Restringida exposta a 10 choques

(fonte: elaborado pela autora)

As amostras pequenas apresentaram resistência de aderência à tração similar às amostras intermediárias e estão indicadas na Tabela 18. A variabilidade do ensaio, identificada para estas amostras, mostrou-se um pouco inferior a das intermediárias, apesar dos ensaios terem sido realizados simultaneamente. A ruptura dos corpos de prova ocorreu majoritariamente nas camadas de chapisco e de argamassa, em todas as combinações apresentadas. Alguns pontos de arrancamento apresentaram o destacamento de fragmentos do substrato cerâmico, como mostra a Figura 43.

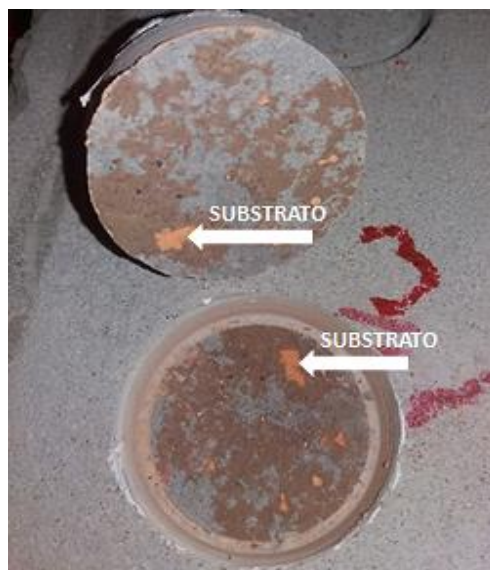
Tabela 18 – Valores da resistência de aderência à tração das amostras pequenas, após os choques térmicos, aos 40 dias

Amostra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Zona da ruptura (%)				
							Subst/ Substrato	Chapis/ Chapisco	Arg/ Argamassa	Chapis/ Arg	Argamassa
PL10	1	0,41	0,63	0,12	19,20	bloco	0	0	5	45	50
	2	0,76				bloco	5	0	55	0	40
	3	0,59				junta	0	0	80	0	20
	4	0,67				bloco	0	5	50	30	15
	5	0,76				bloco	0	0	80	0	20
	6	0,49				bloco	0	0	20	50	30
	7	0,76				bloco	0	10	70	10	10
	8	0,67				bloco	0	20	70	0	10
	9	0,96				junta	5	20	30	30	15
	10	0,71				junta	0	0	30	30	40
	11	0,51				bloco	0	25	30	25	20
	12	0,61				bloco	0	80	10	0	10
						<b>totais</b>	<b>0,45</b>	<b>12,73</b>	<b>45,45</b>	<b>17,27</b>	<b>24,09</b>
PR10	1	0,85	0,70	0,17	24,86	bloco	0	40	40	10	10
	2	0,69				bloco	0	30	30	30	10
	3	0,86				junta	0	0	30	30	40
	4	0,41				junta	0	5	35	30	30
	5	0,61				bloco	0	10	10	20	60
	6	0,58				bloco	0	10	30	30	30
	7	0,37				bloco	0	5	0	10	85
	8	0,78				bloco	0	10	60	10	20
	9	0,84				junta	5	10	30	30	25
	10	0,74				junta	20	0	20	10	50
	11	0,87				bloco	15	5	65	0	15
	12	0,79				bloco	15	0	50	10	25
						<b>totais</b>	<b>4,58</b>	<b>10,42</b>	<b>33,33</b>	<b>18,33</b>	<b>33,33</b>

PL10: Pequena Livra exposta a 10 choques/ PR10: Pequena Restringida exposta a 10 choques

(fonte: elaborado pela autora)

Figura 43 – Extração com destacamento do bloco



(fonte: elaborado pela autora)

Da mesma forma que na amostra grande, a resistência de aderência observada nos exemplares reduzidos após os choques térmicos é idêntica estatisticamente à aderência inicial, conforme a Tabela 19. Essa situação é ilustrada na Figura 44, onde se observa a alta variabilidade do ensaio que dificulta a visualização de possíveis interferências dos fatores controláveis sobre a variável de resposta.

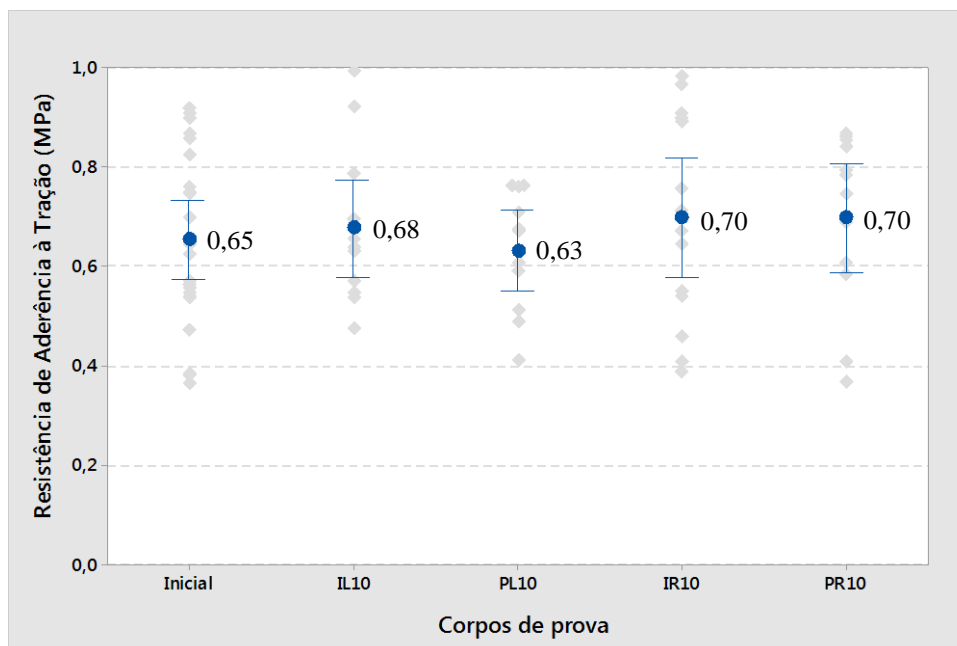
Tabela 19 – Análise da variância das amostras reduzidas expostas a 10 choques com seu estado inicial

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
<b>Amostras pequenas e intermediárias: inicial e após 10 choques</b>	0,04	4	0,01	0,36	83,6%	NÃO
<b>Erro</b>	1,99	66,00	0,03			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Figura 44 – Comparação da média da resistência de aderência inicial das amostras pequenas e intermediárias com as médias obtidas após a incidência de 10 choques



(fonte: elaborado pela autora)

### 5.1.2.3 Apresentação da resistência de aderência à tração após 30 choques térmicos e comparação com o estado inicial

A Tabela 20 traz a leitura realizada em cada arrancamento na amostra grande, GL30, após submetê-la a 30 choques térmicos. Esta amostra apresentou um incremento na resistência de aderência à tração, sendo estatisticamente diferente ao seu estado inicial, cuja aderência média foi de 0,61 MPa. Possivelmente, este aumento da resistência de aderência está relacionado a uma aceleração da cura causada pelo calor e umidade fornecida pelo ensaio de desempenho. Este comportamento já foi observado em outras pesquisas (GEYER, 1994; CRESCÊNCIO E BARROS, 2003; MIRANDO E SELMO, 2006; LONGHI, 2012; DIRKX E GREGÓIRE, 2012; SENTENA, 2015). Para reverter este fenômeno, Esquivel (2009) utilizou cura térmica nos corpos de prova de referência, buscando igualar a maturidade do revestimento desses aos elementos expostos a choques térmicos. No presente trabalho, também adotou-se metodologia similar. Buscou-se igualar a energia fornecida pelos choques térmicos em corpos de referência, identificando qual o acréscimo provocado na resistência de aderência à tração. Os resultados obtidos, bem como uma descrição dessa metodologia, são dados no apêndice B.

Tabela 20 – Valores da resistência de aderência à tração da amostra GL30, após os choques térmicos, aos 40 dias

Amostra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Zona da ruptura (%)				
							Substrato	Subst/Chapis	Chapisco	Chapis / Arg	Argamassa
GL30	1	0,70	0,80	0,20	25,20	bloco	0	0	30	20	50
	2	0,55				bloco	0	0	30	30	40
	3	0,73				bloco	0	5	40	40	15
	4	0,85				bloco	0	5	30	50	15
	5	0,71				junta	0	5	40	40	15
	6	0,73				bloco	0	10	40	40	10
	7	0,84				bloco	0	70	0	15	15
	8	0,91				bloco	0	15	30	40	15
	9	1,09				junta	5	5	35	50	5
	10	0,34				bloco	0	5	0	40	55
	10B	1,12				junta	0	15	35	35	15
	11	1,00				bloco	0	0	40	45	15
	12	1,12				bloco	0	0	0	85	15
	13	0,59				bloco	0	5	0	90	5
	14	0,77				bloco	0	5	0	90	5
	15	0,82				junta	0	10	0	85	5
	16	0,66				bloco	0	5	0	90	5
	17	0,74				bloco	0	0	0	90	10
	18	1,17				junta	10	20	0	60	10
	19	0,88				bloco	0	0	0	90	10
	20	0,87				junta	0	20	0	40	40
	21	0,16				bloco	0	30	0	35	35
	22	0,76				bloco	0	10	0	80	10
	23B	1,03				bloco	0	10	0	80	10
	23	0,94				bloco	0	0	0	100	0
	24	0,58				junta	0	0	0	90	10
	25	0,55				bloco	0	0	0	90	10
	26	0,35				junta	0	10	0	80	10
	27	0,93				bloco	0	5	0	85	10
	28	0,76				bloco	0	0	0	60	40
	29	0,64				bloco	0	0	0	90	10
	30	0,76				bloco	0	5	0	90	5
	31	0,63				bloco	0	5	0	90	5
	33	0,81				bloco	0	5	0	90	5
	34	0,91				bloco	0	0	0	95	5
	35	0,81				bloco	0	0	0	80	20
	36	0,80				bloco	0	0	0	60	40
37	1,15	junta	0	0	0	90	10				
						Total	0,41	6,76	9,46	67,97	15,41

GL30: Grande Livre exposta a 30 choques

(fonte: elaborado pela autora)

Geyer (1994) também identificou um acréscimo da resistência de aderência à tração: das 6 combinações submetidas a 10 choques térmicos, 3 apresentaram aderência superior ao corpo de prova testemunho, não exposto aos ciclos. As resistências de aderência à tração desses 3 corpos de prova foram bem discrepantes, de 0,31, 0,81 e 1 MPa no estado inicial, que passaram para 0,49, 0,9 e 1,1 MPa, respectivamente, após os choques térmicos. A autora concluiu que o ensaio não comprovou o efeito de deterioração esperado, pelo contrário, pois

para algumas variáveis os choques aplicados aparentemente incrementaram a resistência de aderência.

Já Crescêncio e Barros (2003) identificaram que em 3 das 15 combinações estudadas ocorreu um aumento da resistência de aderência, as mais significativas sofreram um acréscimo de 67 e 50% do estado inicial. Dessas 3 combinações, 2 eram da argamassa de referência. Essas apresentaram resistências de aderência à tração iniciais de 0,17 e 0,25 MPa. Os autores colocam que este comportamento pode ter sido observado devido à superfície de ensaio não ter sido uniformemente exposta ao calor, ou mesmo, que o número de arrancamentos para o ensaio de resistência de aderência após os choques tenha sido insuficiente. Nesse trabalho, todas as combinações de uma monocamada, denominada B pelos autores, apresentaram perda da resistência de aderência. Essa monocamada B foi caracterizada com a resistência à compressão aproximadamente metade da resistência observada para as demais, também seu módulo de elasticidade era inferior. Dirx e Gregoire (2012) identificaram o aumento da resistência de aderência à tração de sistemas ETICS em 1 das 4 combinações, destaca-se, porém, que as amostras em que se observou a deterioração desta propriedade foram submetidas a ciclos de gelo e degelo, além dos choques térmicos.

No intuito de melhor comparar os resultados dos trabalhos, foi elaborada a Tabela 21. Na análise dos dados, não se identificou semelhanças entre os corpos de prova que apresentaram aumento da resistência de aderência à tração, após os ensaios de envelhecimento acelerado. O nível da resistência de aderência inicial é bastante variado, entre 0,01 e 1 MPa. Observou-se o aumento da resistência de aderência em argamassas industrializadas e convencionais, aplicadas manual e mecanicamente e para distintos sistemas de revestimento. Contudo, as pesquisas de Crescêncio e Barros (2003), Miranda e Selmo (2006) e Sentena (2015) indicam que as argamassas com traços mais ricos, maior módulo de elasticidade e resistência à compressão tendem a uma menor degradação da resistência de aderência, ou mesmo o aumento dessa propriedade após os choques térmicos. Esse comportamento é coerente com a afirmação de Temoche e Barros (2010), que ao analisarem revestimentos com e sem aditivo incorporador de ar, concluíram que os revestimentos mais densos podem apresentar uma cura mais acelerada frente aos ciclos térmicos, pois gerariam uma maior quantidade de hidratos.

Tabela 21 – Características e resultados para a resistência de aderência observados em outras pesquisas

Autor	Argamassa/ Execução	Traço	Combinação	Resist. à compressão da arg. (MPa)	Resist. Aderência Inicial/ Referência (MPa)	Resist. Aderência Final (MPa)	Observações	
GEYER	Arg. Colante Convencional/ Manual	- 1 : 0,5 : 5	ceramico 15x15 ceramico 15x15	21,23 7,83	<b>0,31</b> <b>0,81</b>	<b>0,49</b> <b>0,90</b>		
	Convencional/ Manual	1 : 2 com incorporador de ar	ceramico 15x15	21,6	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>		
	Arg. Colante Convencional/ Manual	- 1 : 0,5 : 5	ceramico 20x25 ceramico 20x25	21,23 7,83	<b>0,49</b> <b>1,00</b>	<b>0,38</b> <b>0,90</b>		
	Convencional/ Manual	1 : 2 com incorporador de ar	ceramico 20x25	21,6	<b>1,00</b>	<b>1,10</b>		
	CRESCÊNCIO E BARROS	Industrializada	-	estrutura	5,57	<b>0,17</b>	<b>0,26</b>	
		Industrializada	-	Cerâmico sem chapisco	5,57	<b>0,29</b>	<b>0,23</b>	
Industrializada		-	Cerâmico com chapisco	5,57	<b>0,46</b>	<b>0,22</b>		
Industrializada		-	Concreto sem chapisco	5,57	<b>0,25</b>	<b>0,33</b>		
Industrializada		-	Concreto com chapisco	5,57	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>		
Monocamada A		-	Estrutura	5,87	<b>0,29</b>	<b>0,48</b>		
Monocamada A		-	Cerâmico sem chapisco	5,87	<b>0,31</b>	<b>0,11</b>		
Monocamada A		-	Cerâmico com chapisco	5,87	<b>0,28</b>	<b>0,13</b>		
Monocamada A		-	Concreto sem chapi	5,87	<b>0,36</b>	<b>0,17</b>		
Monocamada A		-	Concreto com chapisco	5,87	<b>0,27</b>	<b>0,28</b>		
Monocamada B		-	Estrutura	2,63	<b>0,33</b>	<b>0,28</b>		
Monocamada B		-	Cerâmico sem chapisco	2,63	<b>0,18</b>	<b>0,06</b>		
Monocamada B		-	Cerâmico com chapisco	2,63	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>		
Monocamada B		-	Concreto sem chapi	2,63	<b>0,52</b>	<b>0,30</b>		
Monocamada B		-	Concreto com chapisco	2,63	<b>0,30</b>	<b>0,01</b>		
LONGHI	Industrializada/ Manual	-	Conc. c/ chap. desempenado 1	4,42	<b>0,52</b>	<b>0,65</b>	O inicial é uma referência de mesma idade mantida em câmara climatizada.	
	Industrializada/ Manual	-	Concreto c/ chap. rolado 1	4,42	<b>0,87</b>	<b>0,66</b>		
	Industrializada/ Manual	-	Conc. chap. desempenado 2	1,4	<b>0,06</b>	<b>0,20</b>		
	Industrializada/ Manual	-	Concreto c/ chap.rolado 2	2,53	<b>0,30</b>	<b>0,54</b>		
DIRKX E GREGÓIRE	ETICS Mineral	-	Camada de base e isolante	-	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	Nas duas combinações que ocorreu a redução da resist. aderência também foi utilizado gelo e degelo	
	ETICS Mineral	-	Camada de reforço	-	<b>0,13</b>	<b>0,06</b>		
	ETICS poliestireno	-	Camada de base e isolante	-	<b>0,08</b>	<b>0,10</b>		
	ETICS poliestireno	-	Camada de reforço	-	<b>0,11</b>	<b>0,05</b>		

**reduziu a resist. aderência**  
 **aumentou a resist. aderência**  
*não alterou a resist. aderência*

continua



continuação

Autor	Argamassa/ Execução	Traço	Combinação	Resist. à compressão da arg. (MPa)	Resist. Aderência Inicial/ Referência (MPa)	Resist. Aderência Final (MPa)	Observações
ESQUIVEL	Convencional/ Canequinha	1:4 Sem incorporador de ar	sem falhas intencionais do contato da argamassa	14,76	<u>1,09</u>	<u>0,40</u>	O estado inicial é representado por amostras que passaram por uma cura térmica equivalente
	Convencional/ Canequinha	1:4 Com incorp. de ar	sem falhas intencionais do contato da argamassa	6,53	<u>0,79</u>	<u>0,43</u>	
	Convencional/ Canequinha	1:4 Sem incorp. de ar	c/ 35% de falhas intencionais	14,76	<u>0,32</u>	<u>0,21</u>	
	Convencional/ Canequinha	1:4 Com incorp. de ar	c/ 35% de falhas intencionais	6,53	<u>0,30</u>	<u>0,23</u>	
ROMAN et al.	Convencional	1:2:6	Bloco cerâmico com emboço e rev. Cerâmico	-	<u>1,14</u>	<u>1,04</u>	
SENTENA	Convencional/ Caixa de queda	1:1,15:1,30	Arg. com 2% de filer	7,54	<u>0,88</u>	<u>0,93</u>	
	Convencional/ Caixa de queda	1:1,15:1,30	Arg. com 4,5% de filer	7,46	<u>0,94</u>	<u>0,92</u>	
	Convencional/ Caixa de queda	1:1,15:1,30	Arg. com 7% de filer	7,48	<u>0,77</u>	<u>0,54</u>	
	Convencional/ Caixa de queda	1:1,15:1,30	Arg. com 9,5% de filer	6,98	<u>0,94</u>	<u>0,57</u>	
MIRANDA E SELMO	Convencional/ Manual	1:7,92	RCD T2 - 18% de mat. fino	2,43	<u>0,29</u>	<u>0,26</u>	O autor considerou que a RDC T6-32% e a RCD T2 - 18 % mantiveram-se constante.
	Convencional/ Manual	1:7,67	RCD T4 - 18% de mat. fino	2,46	<u>0,37</u>	<u>0,25</u>	
	Convencional/ Manual	1:7,64	RCD T6 - 18% de mat. fino	2,57	<u>0,26</u>	<u>0,26</u>	
	Convencional/ Manual	1:5,95	RCD T2 - 25% de mat. fino	2,94	<u>0,47</u>	<u>0,47</u>	
	Convencional/ Manual	1:5,26	RCD T4 -25% de mat. fino	2,56	<u>0,44</u>	<u>0,44</u>	
	Convencional/ Manual	1:5,18	RCD T6 - 25% de mat. fino	3,29	<u>0,36</u>	<u>0,44</u>	
	Convencional/ Manual	1:4	RCD T2 - 32% de mat. fino	4,71	<u>0,35</u>	<u>0,56</u>	
	Convencional/ Manual	1:2,8	RCD T4 -32% de mat. fino	3,2	<u>0,2</u>	<u>0,46</u>	
	Convencional/ Manual	1:2,7	RCD T6 - 32% de mat. fino	4,33	<u>0,53</u>	<u>0,56</u>	
	Convencional/ Manual	1:1:8	Referência M - 24% de mat. fino	1,55	<u>0,57</u>	<u>0,44</u>	

**reduziu a resist. aderência**  
 **aumentou a resist. aderência**  
*não alterou a resist. aderência*

(fonte: elaborado pela autora)

A resistência de aderência observada nos corpos de prova intermediários é dada na Tabela 22. Para a combinação IR30, foram realizados somente 11 arrancamentos (menos que os 12

recomendados pela norma), pois aconteceram quebras durante o corte do revestimento e as dimensões da amostra não comportavam mais extrações.

Tabela 22 – Valores da resistência de aderência à tração das amostras intermediárias, após os 30 choques térmicos

Amostra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Zona da ruptura (%)				
							Substrato	Subst/Chapis	Chapisco	Chapis / Arg	Argamassa
IL30	1	0,49	0,56	0,14	24,12	bloco	0	15	60	10	15
	2	0,43				bloco	0	5	25	35	35
	3	0,45				bloco	0	5	40	35	20
	4	0,76				junta	5	0	50	15	30
	5	0,59				bloco	0	0	45	25	30
	6	0,72				junta	5	15	30	30	20
	7	0,50				junta	5	0	30	35	30
	8	0,64				bloco	0	0	70	15	15
	9	0,61				bloco	3	7	50	5	35
	10	0,70				junta	0	0	40	50	10
	11	0,35				bloco	0	0	40	35	25
	12	0,66				junta	5	20	25	40	10
	13	0,38				bloco	5	0	50	25	20
									Total	2,15	5,15
IR30	1	0,75	0,63	0,20	32,45	bloco	0	15	70	0	15
	2	0,67				junta	0	0	30	60	10
	3	0,69				bloco	0	5	50	35	10
	4	0,57				bloco	0	0	30	50	20
	5	0,72				bloco	0	5	20	15	60
	6	1,08				junta	0	0	25	55	20
	7	0,61				junta	0	0	20	40	40
	8	0,55				bloco	0	0	35	55	10
	9	0,43				bloco	0	0	80	0	20
	10	0,91				junta	5	20	15	40	20
	11	0,36				bloco	0	15	60	15	10
									Total	0,50	6,00

IL30: Intermediária Livre exposta a 30 choques/ IR30: Intermediária Restringida exposta a 30 choques

(fonte: elaborado pela autora)

As resistências médias de aderência à tração das amostras pequenas após os 30 choques térmicos são apresentadas na Tabela 23. Assim como a IR30, a variável PL30 foi avaliada através de 11 pontos de arrancamento, pois alguns pontos tiveram ruptura superficial e na cola, portanto não foram considerados.

Tabela 23 – Valores da resistência de aderência à tração das amostras pequenas, após os 30 choques térmicos

Amostra	CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Zona da ruptura (%)				
							Substrato	Subst/Chapis	Chapisco	Chapis / Arg	Argamassa
PL30	1	0,84	0,68	0,16	23,66	bloco	2	0	13	20	65
	2	0,85				bloco	0	0	15	45	40
	3	0,71				junta	0	0	20	50	30
	4	0,77				junta	0	0	15	35	50
	5	0,62				bloco	0	0	80	0	20
	6	0,53				bloco	0	0	80	0	20
	7	0,37				junta	0	15	10	40	35
	8	0,62				bloco	0	0	5	15	80
	9	0,60				bloco	0	0	10	50	40
	10	0,92				junta	0	0	40	10	50
	11	0,64				bloco	0	0	5	15	80
									Total	0,18	1,36
PR30	1	0,85	0,47	0,12	25,61	bloco	2	13	20	35	30
	2	0,37				bloco	2	0	40	25	33
	3	0,31				junta	5	10	50	15	20
	4	0,51				bloco	0	35	0	25	40
	5	0,39				junta	0	40	0	10	50
	6	0,63				bloco	0	20	30	35	15
	7	0,63				bloco	0	10	0	70	20
	8	0,32				bloco	0	20	65	0	15
	9	0,51				junta	0	0	60	0	40
	10	0,47				junta	15	45	20	0	20
	11	0,62				bloco	0	0	50	0	50
	12	0,40				bloco	0	0	50	0	50
					Total	2,00	16,36	33,18	16,36	32,09	

PL30: Pequena livre exposta a 30 choques/ PR30: Pequena Restringida exposta a 30 choques

(fonte: elaborado pela autora)

A análise de variância, apresentada na Tabela 24, apontou que há interferência significativa entre essas combinações. Através da análise múltipla de médias, identificou-se que a diferenciação ocorre entre as amostras PR30 e PL30. Contudo, todas as combinações (IR30, IL30, PR30 e PL30) resultaram idênticas estatisticamente ao estado inicial. Destaca-se, porém, que a resistência de aderência da amostra PR30, após o ensaio de desempenho, está no limite estabelecido para ser considerada significativamente distinta a do estado inicial, antes dos choques térmicos. Esta situação é demonstrada pela Figura 45, onde o intervalo de confiança das 4 combinações, pequenas e intermediárias, cruzam o intervalo de confiança do estado inicial.

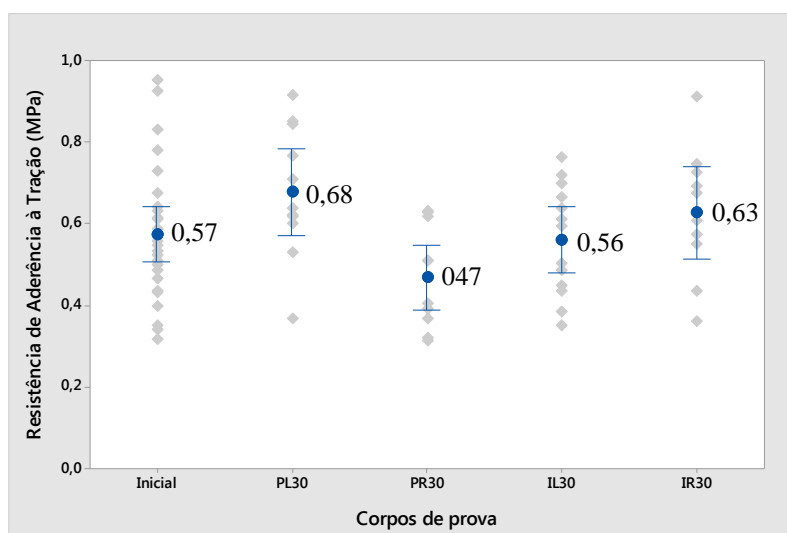
Tabela 24 – Análise da variância das amostras reduzidas expostas a 30 choques com seu estado inicial

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
Amostras pequenas e intermediárias: inicial e após 30 choques	0,27	4	0,07	2,87	3,0%	SIM
Erro	1,55	66	0,02			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Figura 45 – Comparação da média da aderência inicial das amostras pequenas e intermediárias com as médias obtidas após a incidência de 30 choques



(fonte: elaborado pela autora)

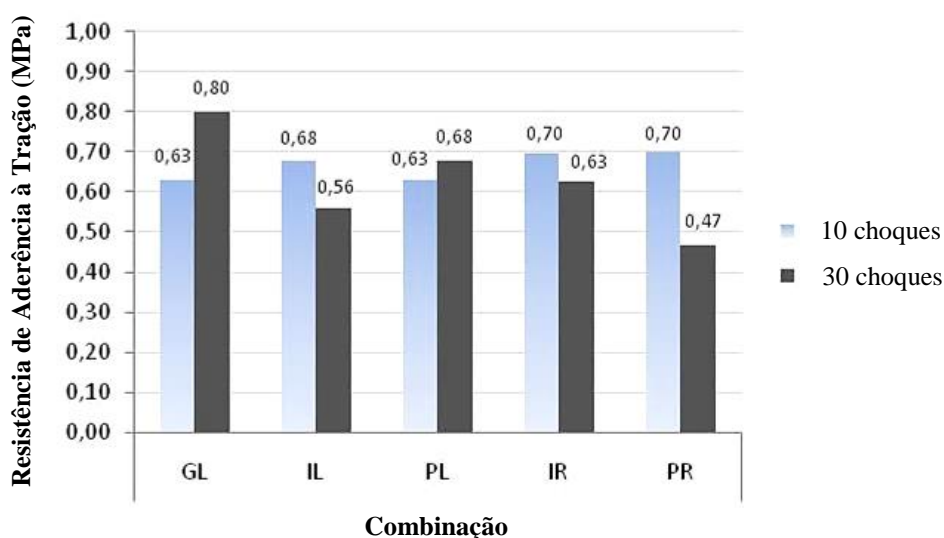
#### 5.1.2.4 Análise comparativa entre a exposição a 10 e 30 choques

As médias obtidas para 10 e 30 choques são apresentadas na Figura 46. Inicialmente, nota-se que não há uma tendência comportamental, visto que algumas combinações aumentaram a resistência de aderência à tração com o maior número de choques e outras reduziram. As amostras GL e PL apresentaram um aumento de 27 e 7%, respectivamente, entre a resistência de aderência observada para 10 e 30 choques. Já as amostras IL, IR e PR sofreram uma redução de 17, 10 e 33%, respectivamente. Nota-se que as amostras restringidas não sofreram acréscimo da resistência de aderência de 10 para 30 choques, porém a intermediária livre apresentou uma redução mais acentuada que a restringida. Destaca-se, porém, que essas comparações consideraram apenas a média de cada combinação e não são estatísticas.

A análise de variância, Tabela 25, confirmou através de análise estatística que o número de choques não apresenta interferência nos resultados da resistência de aderência à tração, ou seja, esse não é um fator significativo. Portanto, o maior número de choques não acarretou em

uma maior deterioração da resistência de aderência. Outras pesquisas também não observaram degradação da resistência de aderência após a incidência de choques térmicos. Roman et al. (2000), ao exporem um sistema de revestimento cerâmico, concluíram que “A resistência de aderência ao arrancamento do sistema cerâmico testado não apresentou degradação significativa após 120 ciclos de temperatura e umidade;”. Miranda e Selmo (2006) observaram em argamassas com RCD que os choques térmicos não deterioraram a resistência de aderência, das 10 combinações analisadas: 5 mantiveram-se iguais após os choques, 3 tiveram a resistência de aderência majorada e somente 2 mostraram certa redução. Sentena (2015), que avaliou a resistência de aderência de revestimentos com filler expostos a ciclos térmicos, identificou o aumento da resistência de aderência em um dos casos, porém a alta dispersão dos resultados mostrou igualdade estatística entre todas as combinações. O autor então afirma “A determinação da resistência de aderência do revestimento não se mostrou uma técnica adequada para a avaliação da deterioração dos revestimentos ao longo dos ciclos de ensaio.”. No cenário internacional, Topcu e Merkel (2008), ao avaliaram sistemas ETICS, não identificaram redução da resistência de aderência, após ciclos semelhantes aos da NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Figura 46 – Comparação das médias da resistência de aderência à tração obtidas para 10 e 30 choques



(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 25 – ANOVA das variáveis controláveis nos resultados da resistência de aderência à tração

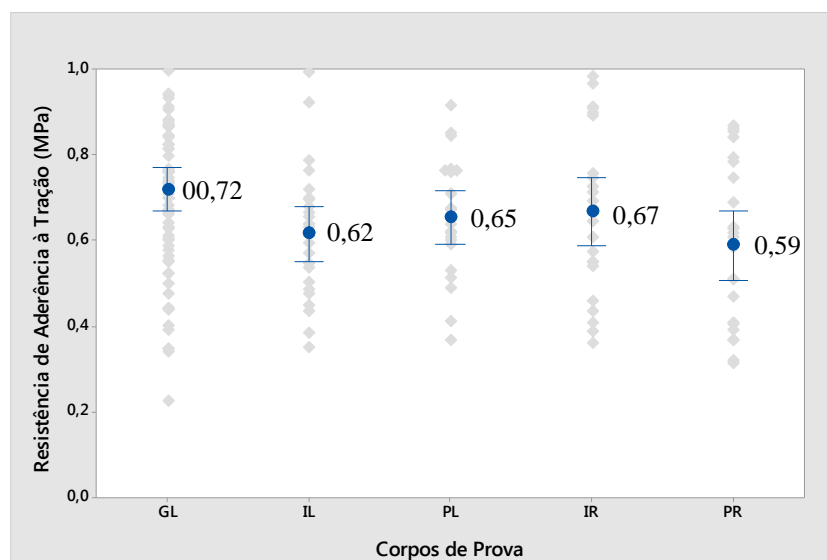
Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
<b>Dimensões e Condição de contorno (A)</b>	0,40	4	0,10	3,33	1,2%	SIM
<b>Número de choques (B)</b>	0,02	1	0,02	0,59	44,3%	NÃO
<b>AB</b>	1,33	4	0,33	10,99	0,0%	SIM
<b>Erro</b>	4,64	153,00	0,03			

SQ: soma quadrática; NGL: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

As dimensões e condição de contorno, considerados como um único fator controlável, possuem interferência na resistência de aderência do sistema. A comparação entre médias deste fator indica que as amostras grandes livres são diferentes estatisticamente das amostras intermediárias livres e pequenas restringidas, como ilustra a Figura 47. Essa diferenciação do nível GL ocorreu porque a GL30, que teve a aderência majorada pelos choques, aumentou a média desta população. Desta forma, apesar deste nível ser diferente dos demais, esse não representa uma maior deterioração da resistência de aderência à tração.

Figura 47 – Comparação da média da resistência de aderência à tração para o fator A (dimensões e condições de contorno)



(fonte: elaborado pela autora)

Fixando o fator controlável B (número de choques térmicos) em 10 choques, as médias da resistência de aderência à tração não apresentam diferença estatística, ou seja, todas as

amostras pertencem ao mesmo nível. Portanto, para 10 choques térmicos segundo os procedimentos da NBR15575 (ABNT, 2013a), a variação de dimensões e a aplicação de restrições nas amostras, da forma executada nesta pesquisa, não afetam a resistência de aderência à tração. Assim sendo, apesar de teoricamente a aplicação de restrições aumentar as tensões internas (ESQUIVEL, 2009; BARBOSA, 2013; OLIVEIRA ET AL., 2014; FONTENELLE E MITIDIERI, 2016), para a exposição a 10 choques térmicos não foi observada nenhuma degradação adicional da aderência pelo o uso das mesmas. Fontenelle e Mitidieri (2016) colocam que, dependendo da forma como são construídas, as contenções podem não representar adequadamente as restrições impostas pela continuidade do elemento na situação real. Tendo em vista que a diminuição da umidade do sistema devido ao aquecimento durante o ensaio pode provocar uma redução do volume, os autores ressaltam que são necessárias contenções também para retrações do revestimento.

Fixando o fator controlável B em 30 choques, ocorrem as diferenciações expostas na Tabela 36. A GL30 apresentou uma aderência distinta de todas as demais combinações, porém este corpo de prova sofreu um aumento da aderência após os choques térmicos, como discutido no item 5.1.2.3. A amostra PR30 diferenciou-se estatisticamente da amostra PL30, tendo a PL30 apresentado aderência aproximadamente 45% superior à PR30. Contudo, destaca-se que ambas as amostras são estatisticamente idênticas ao seu estado inicial. Esse comportamento foi possível porque enquanto a combinação PR30 sofreu uma redução a PL30 teve um incremento da aderência, após os choques térmicos. Possivelmente, as restrições tenham atuado de maneira mais eficaz no impedimento das dilatações na combinação PR30. Ressalta-se que não se observou variação linear nessa amostra (item 5.4). O aumento da resistência de aderência que a PL30 apresentou pode estar relacionado ao calor incidido sobre estes corpos de prova, superior ao observado para as amostras PR30, conforme consta na Tabela 10.

Tabela 26 – Análise múltipla de médias da resistência de aderência à tração com o fator B fixado em 30 choques

Comparação	$n_c$	$S_x$	Limite de decisão (MPa)	Diferença entre as médias (MPa)	Situação
GL30-IL30	25,0	0,03	0,10	0,24	<b>DIFERENTES</b>
GL30-PL30	24,0	0,04	0,11	0,12	<b>DIFERENTES</b>
GL30-IR30	23,5	0,04	0,11	0,17	<b>DIFERENTES</b>
GL30-PR30	24,0	0,04	0,11	0,33	<b>DIFERENTES</b>
IL30-PL30	12,0	0,05	0,15	0,12	IGUAIS
IL30-IR30	11,5	0,05	0,15	0,07	IGUAIS
IL30-PR30	12,0	0,05	0,15	0,09	IGUAIS
PL30-IR30	10,5	0,05	0,16	0,05	IGUAIS
PL30-PR30	11,0	0,05	0,16	0,21	<b>DIFERENTES</b>
IR30-PR30	10,5	0,05	0,16	0,16	IGUAIS

(fonte: elaborado pela autora)

Fixando o fator controlável A, dimensões e condição de contorno, apenas dentro das combinações GL e PR ocorre diferença estatística entre a resistência de aderência observada para 10 e 30 choques térmicos, conforme a Tabela 27.

Tabela 27 – Análise múltipla de médias da resistência de aderência à tração com o fator A fixado

Nível fixado	Comparação	$n_c$	$S_x$	Limite de decisão (MPa)	Diferença entre as médias (MPa)	Situação
GL	GL10 - GL30	34,5	0,03	0,09	0,17	<b>DIFERENTES</b>
IL	IL10 - IL30	12,5	0,05	0,15	0,12	IGUAIS
PL	PL10 - PL30	11,0	0,05	0,16	0,05	IGUAIS
IR	IR10 - IR30	12,0	0,05	0,15	0,07	IGUAIS
PR	PR10 - PR30	11,5	0,05	0,15	0,23	<b>DIFERENTES</b>

(fonte: elaborado pela autora)

#### 5.1.2.5 Análise estatística apenas das amostras reduzidas

Neste item, apresenta-se a análise estatística das amostras reduzidas, ou seja, sem os resultados observados nos corpos de prova com dimensões de norma. Esse estudo foi realizado com o intuito de verificar a condição de contorno, o uso ou não das restrições, como um fator controlável. Assim na Tabela 28, o fator controlável A representa apenas as dimensões, nesse caso intermediárias e pequenas, o fator B permanece como o número de choques, 10 ou 30, e inseriu-se o fator controlável C como a condição de contorno, restringidas ou livres.



Tabela 28 – Análise de variância das amostras reduzidas para a resistência de aderência após os choques térmicos

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
<b>Dimensões (A)</b>	0,01	2	0,01	0,19	82,6%	NÃO
<b>Número de choques (B)</b>	0,22	1	0,22	8,30	0,5%	SIM
<b>Condição de contorno (C)</b>	0,00	1	0,00	0,02	89,3%	NÃO
<b>AB</b>	0,23	2	0,11	4,31	1,7%	SIM
<b>AC</b>	0,09	2	0,05	1,74	18,3%	NÃO
<b>BC</b>	0,30	1	0,30	11,26	0,1%	SIM
<b>ABC</b>	0,52	2	0,26	9,91	0,0%	SIM
<b>Erro</b>	2,17	82,00	0,03			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Através dessa análise, evidencia-se que a diferença de dimensões entre as amostras intermediárias e pequenas não é significativa, ou seja, não afetam a resistência de aderência à tração. Nas amostras reduzidas, o número de choques térmicos interfere nos resultados, uma vez que o fator controlável B é significativo. Conforme já indicavam os dados expostos nos itens anteriores, a condição de contorno não exerce influência significativa sobre o resultado da resistência de aderência.

A Tabela 29 traz a comparação múltipla de médias do fator B, que é significativo, fixando os demais fatores controláveis. A primeira linha refere-se à comparação entre os resultados mensurados após 10 e 30 choques térmicos, englobando todas as combinações, mostrando que estes 2 níveis são estatisticamente diferentes. Essa diferença pode ser atribuída às amostras restringidas, mais especificamente as médias das amostras pequenas restringidas, uma vez que fixando o fator controlável C em restringidas e o fator A em pequenas as médias mostraram-se diferentes.

Tabela 29 – Tabela resumo da comparação múltipla de médias realizadas para o fator controlável B (número de choques)

Análise fixando o fator	Comparação dos níveis	$n_c$	$S_x$	Limite de decisão (Mpa)	Diferença entre as médias (Mpa)	Situação
-	10-30	47,00	0,02	0,07	0,10	<b>DIFERENTES</b>
A = INTERMEDIÁRIAS	I10-I30	24,50	0,03	0,10	0,10	IGUAIS
A = PEQUENAS	P10-P30	22,50	0,03	0,10	0,09	IGUAIS
C = LIVRES	L10-L30	23,50	0,03	0,10	0,04	IGUAIS
C = RESTRINGIDAS	R10-R30	23,50	0,03	0,10	0,15	<b>DIFERENTES</b>
A= INTERMEDIÁRIAS e C= LIVRES	IL10-IL30	12,50	0,05	0,14	0,12	IGUAIS
A= PEQUENAS e C= LIVRES	PL10-PL30	11,00	0,05	0,15	0,05	IGUAIS
A= INTERMEDIÁRIAS e C= RESTRINGIDO	IR10-IR30	12,00	0,05	0,14	0,07	IGUAIS
A= PEQUENAS e C= RESTRINGIDAS	PR10-PR30	11,50	0,05	0,14	0,23	<b>DIFERENTES</b>

## 5.2 ANÁLISE DE FISSURAS

Todas as amostras apresentaram alto índice de fissuração no estado inicial, devido à retração por secagem da argamassa. A Tabela 30 expõe o comprimento total por espessura das fissuras observado em cada combinação. Nota-se que houve uma grande diferença entre a amostra GL30 e os demais corpos de prova, apesar de terem sido utilizados os mesmos insumos e equipamentos. Destaca-se, porém, que o local da moldagem não é climatizado e as datas de execução foram distantes, assim a temperatura e umidade do ambiente possivelmente influenciaram a fissuração devido a retrações por secagem no revestimento. Como as amostras reduzidas foram executadas em conjunto em duas etapas, lote 1 e 2, o estado inicial foi caracterizado para cada lote e não por amostra, pois assim uma área maior foi considerada. Portanto, o lote 1 representa as fissuras observadas nas amostras pequenas e intermediárias expostas a 10 choques, enquanto o lote 2 representa as amostras expostas a 30.

Tabela 30 – Índice de fissuras antes dos choques térmicos, aos 28 dias

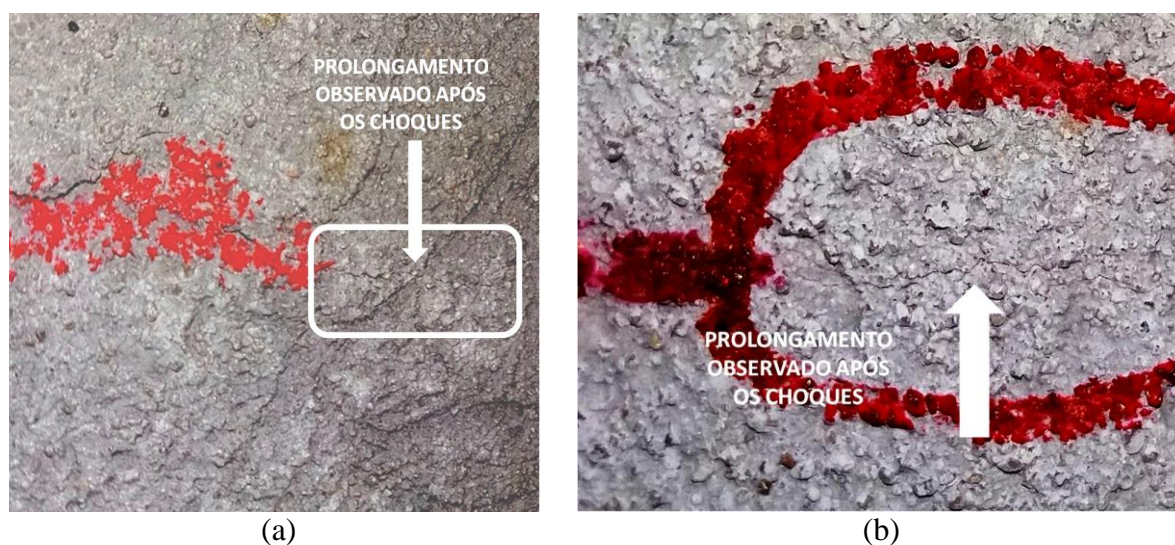
Espessura (mm)	Índice de fissuras (m/m <sup>2</sup> )				
	GL10a	GL10b	GL30	Lote 1	Lote 2
<b>1,20</b>	0,00	0,18	0,00	0,32	0,00
<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
<b>0,90</b>	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00
<b>0,65</b>	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
<b>0,55</b>	0,08	0,00	0,11	0,00	0,00
<b>0,50</b>	0,00	0,04	0,14	0,00	0,00
<b>0,45</b>	0,28	0,05	0,54	0,00	0,16
<b>0,40</b>	0,00	0,00	0,27	0,13	0,00
<b>0,35</b>	0,39	0,00	0,71	0,38	0,17
<b>0,30</b>	0,20	0,24	0,30	0,00	0,14
<b>0,25</b>	0,19	0,20	0,66	0,17	0,48
<b>0,20</b>	0,37	0,23	0,48	0,14	0,33
<b>0,15</b>	0,39	0,33	0,17	0,10	0,20
<b>0,10</b>	0,16	0,21	0,16	0,17	0,30
<b>0,05</b>	0,31	0,21	0,05	0,08	0,20
<b>Total</b>	<b>2,36</b>	<b>1,78</b>	<b>3,57</b>	<b>1,92</b>	<b>2,17</b>

Lote 1: representa o estado inicial das amostras IL10, IR10, PL10 e PR10/  
Lote 2: representa o estado inicial das amostras IL30, IR30, PL30 e PR30

(fonte: elaborado pela autora)

Nas amostras grandes (GL10a, GL10b e GL30), algumas fissuras apresentaram prolongamento após a exposição aos choques térmicos, como ilustra a Figura 48, porém não se observaram novas aberturas. Destaca-se que as imagens foram tratadas digitalmente, pois estes prolongamentos eram visualmente discretos, com espessuras inferiores a 0,05 mm.

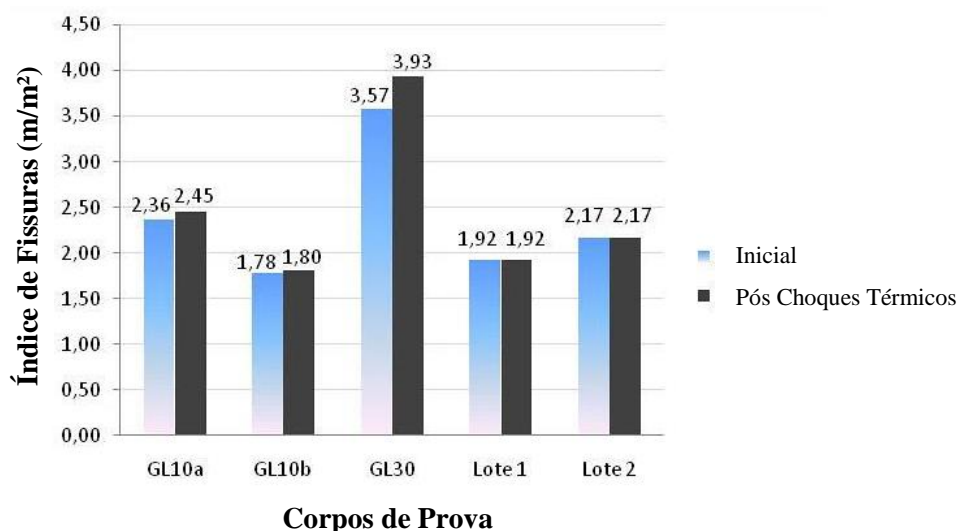
Figura 48 – Prolongamento de fissura após os choques: (a) GL10a e (b) GL30



(fonte: elaborado pela autora)

Na Figura 49, compara-se o índice de fissuração antes e após os choques térmicos. A GL30 apresentou o maior acréscimo dentre as amostras, com um aumento de 9,86% do índice de fissuração, ressalta-se que este exemplar teve a maior fissuração inicial. As amostras grandes expostas a 10 choques, GL10a e GL10b, sofreram discretas alterações, com um incremento de 3,82 e 1,56% do índice de fissuração, respectivamente. Possivelmente ocorreu um aumento da espessura das falhas, porém essa variação não foi perceptível com o fissurômetro utilizado. Os corpos de prova reduzidos não apresentaram alterações nas fissuras após os choques térmicos, contudo destaca-se que a análise foi visual, portanto não contemplou microfissuras imperceptíveis a olho nu.

Figura 49– Comparação do índice de fissuras antes e após os choques térmicos



(fonte: elaborado pela autora)

Os resultados observados indicam que amostras com grandes dimensões resultam em um maior desenvolvimento de fissuras devido aos choques térmicos, o número de choques também influencia o incremento observado nas falhas. Outras pesquisas identificaram comportamento semelhante. Vilató e Franco (2005) observaram um aumento gradual das fissuras no revestimento a cada choque térmico aplicado. As primeiras falhas surgiram ao final do quarto ciclo e após 12 repetições a extensão das fissuras havia aumentado 15 vezes. Os autores também observaram acréscimo da espessura das falhas. Destaca-se que Vilató e Franco (2005) adotaram amostras com 2,40 m, com segmentos perpendiculares nas

extremidades que geraram restrição parcial às movimentações. A argamassa de revestimento foi confeccionada com traço em 1:1:6 e espessura de 2,5 cm.

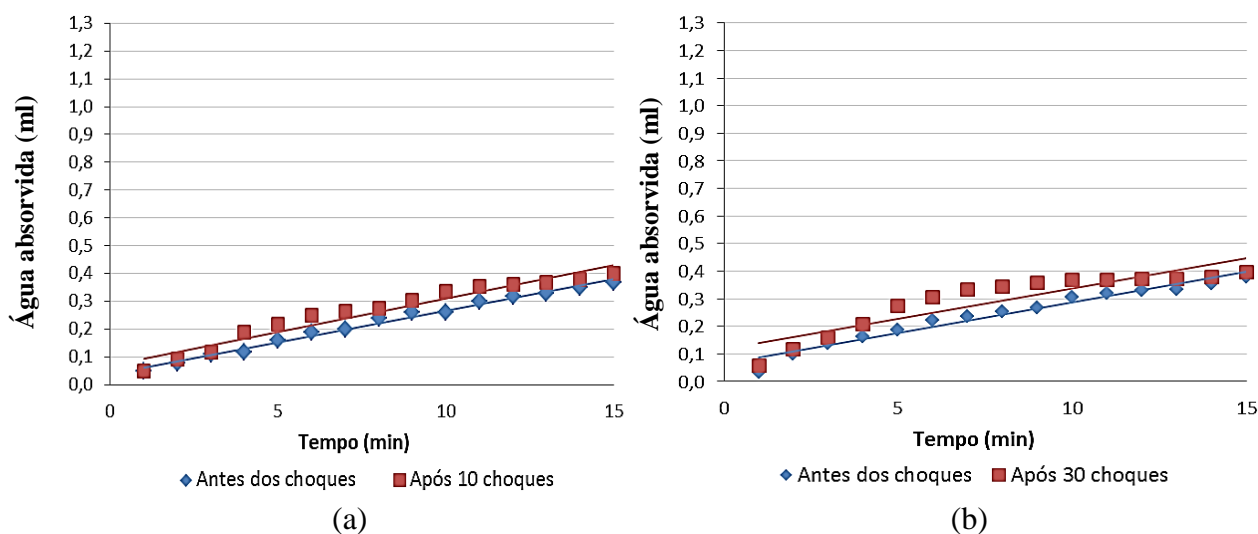
Já Oliveira et al. (2014), que ensaiou paredes de perfil metálico com fechamento em placas cimentícias, concluíram que as amostras de 1,20 m de largura não representam as condições reais, uma vez que após 10 choques térmicos essas não apresentaram fissuras e um protótipo de iguais características, porém com maiores dimensões, apresentou falhas após 6 meses na situação real. Os autores relataram que a única amostra que apresentou problemas devido aos choques térmicos possuía 2,40m de largura e restrições laterais.

Miranda e Selmo (2006) identificaram o aparecimento de fissuras, após os choques, em 4 das 10 amostras expostas. Para o experimento, os autores adotaram amostras com as dimensões recomendadas na norma NBR 15575 (ABNT, 2013a). Na amostra de referência, cuja argamassa de revestimento não continha RCD e o traço adotado foi de 1:1:8 em massa seca, o índice de fissuração inicial foi de 0,15 m/m<sup>2</sup> e após 10 choques os autores observaram 0,20 m/m<sup>2</sup>, um aumento de cerca de 33%. Portanto, o índice de fissuração inicial desta amostra foi consideravelmente inferior ao observado na presente pesquisa, mas o incremento percentual das falhas foi maior.

### 5.3 PERMEABILIDADE

A amostra GL10a não fez parte desta análise, portanto a combinação grande livre exposta a 10 choques é representada pelo corpo de prova GL10b. As amostras GL10b e GL30 apresentaram um acréscimo na absorção média final, após os choques térmicos, de apenas 8% e 5%, respectivamente. Como ilustra a Figura 50, o comportamento da absorção foi muito semelhante antes e após os ciclos do ensaio de desempenho. Deste modo, pode-se afirmar que os choques térmicos não alteraram a absorção de água final e também não afetaram a taxa de absorção, portanto possivelmente não houve variação da microfissuração nestes exemplares. As leituras realizadas para esse ensaio são apresentadas no apêndice B, bem como o coeficiente de variação obtido para cada combinação.

Figura 50 – Água absorvida, antes e após os choques térmicos, nas amostras grandes: (a) GL10b e (b) GL30



(fonte: elaborado pela autora)

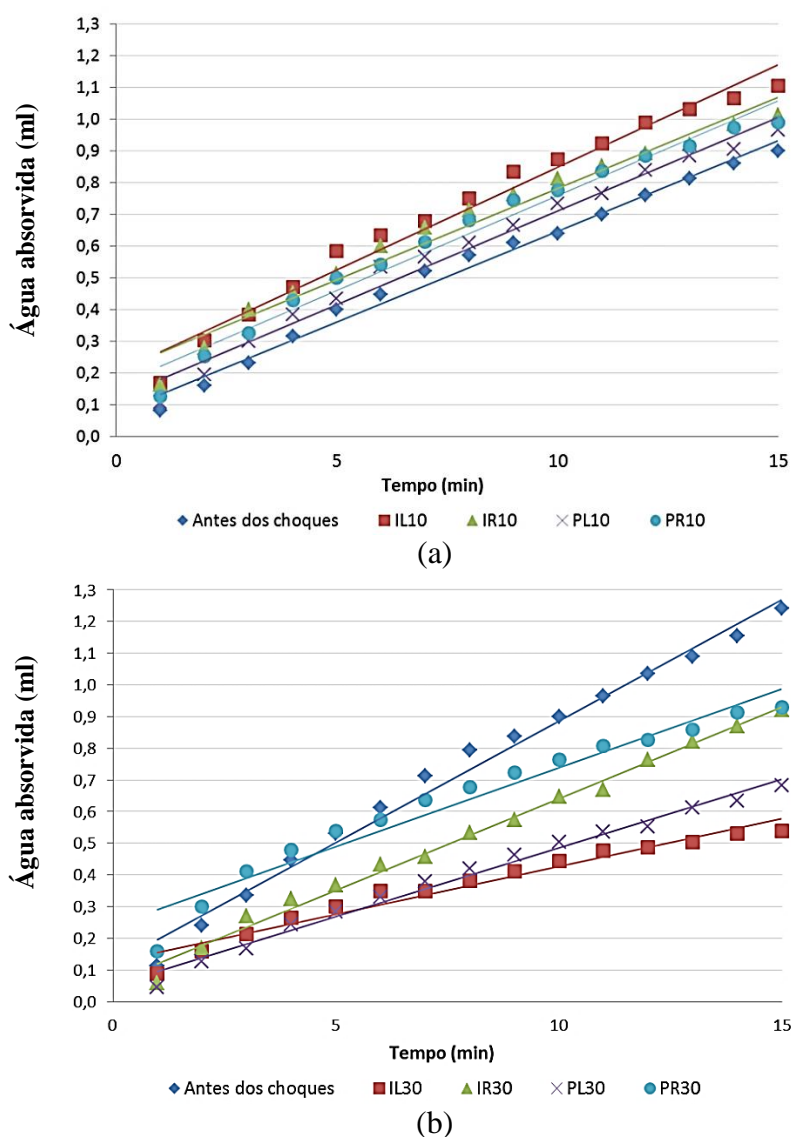
Assim como no ensaio de aderência e análise de fissuras, a absorção das amostras reduzidas antes dos choques térmicos foi mensurada por lotes. Desta forma, a absorção inicial de todas as amostras reduzidas expostas a 10 choques térmicos é a mesma, assim como a absorção inicial de todas as amostras expostas a 30. A água absorvida nesses corpos de prova foi superior ao observado para as amostras grandes. Ressalta-se que o revestimento dos elementos reduzidos foi executado com temperatura ambiente mais elevada e possivelmente ocorreu uma evaporação superficial maior durante o início da cura da argamassa.

As leituras realizadas para os exemplares expostos a 10 choques são resumidas na Figura 51 (a). Nota-se que o comportamento observado é semelhante no estado inicial e após o ensaio de desempenho em todas as combinações, indicando que os 10 choques térmicos não alteraram a absorção do revestimento. As amostras submetidas a 30 ciclos apresentaram uma maior alteração dos resultados, devido aos choques, Figura 51 (b), contudo foi antes dos ciclos que se verificou a maior absorção. As combinações que mais reduziram a absorção foram as livres, PL30 e IL30, enquanto as restringidas, PR30 e IR30, mantiveram seu comportamento mais similar ao do estado inicial.

Antes dos choques térmicos, os corpos de prova reduzidos a serem expostos a 30 choques apresentaram absorção maior aos elementos a serem submetidos a 10 ciclos. Contudo, após os respectivos choques térmicos, observou-se uma absorção menor nos elementos expostos a 30

repetições do que nas amostras expostas a 10. Portanto, possivelmente os 30 ciclos de calor e água provocaram um fechamento dos poros, devido à hidratação da matriz cimentícia, reduzindo a absorção de água. Dias e Carasek (2003) mensuraram, através do método cachimbo, uma redução na absorção de um revestimento de argamassa entre as idades 7 e 60 dias. As autoras atribuem esse comportamento à hidratação do cimento e à carbonatação do hidróxido de cálcio. Após 60 dias, a absorção voltou a aumentar, possivelmente devido à microfissuração provocada pelas intempéries.

Figura 51 – Água absorvida nas amostras reduzidas: (a) amostras reduzidas expostas a 10 choques e o seu estado inicial e (b) amostras reduzidas expostas a 30 choques e o seu estado inicial



(fonte: elaborado pela autora)

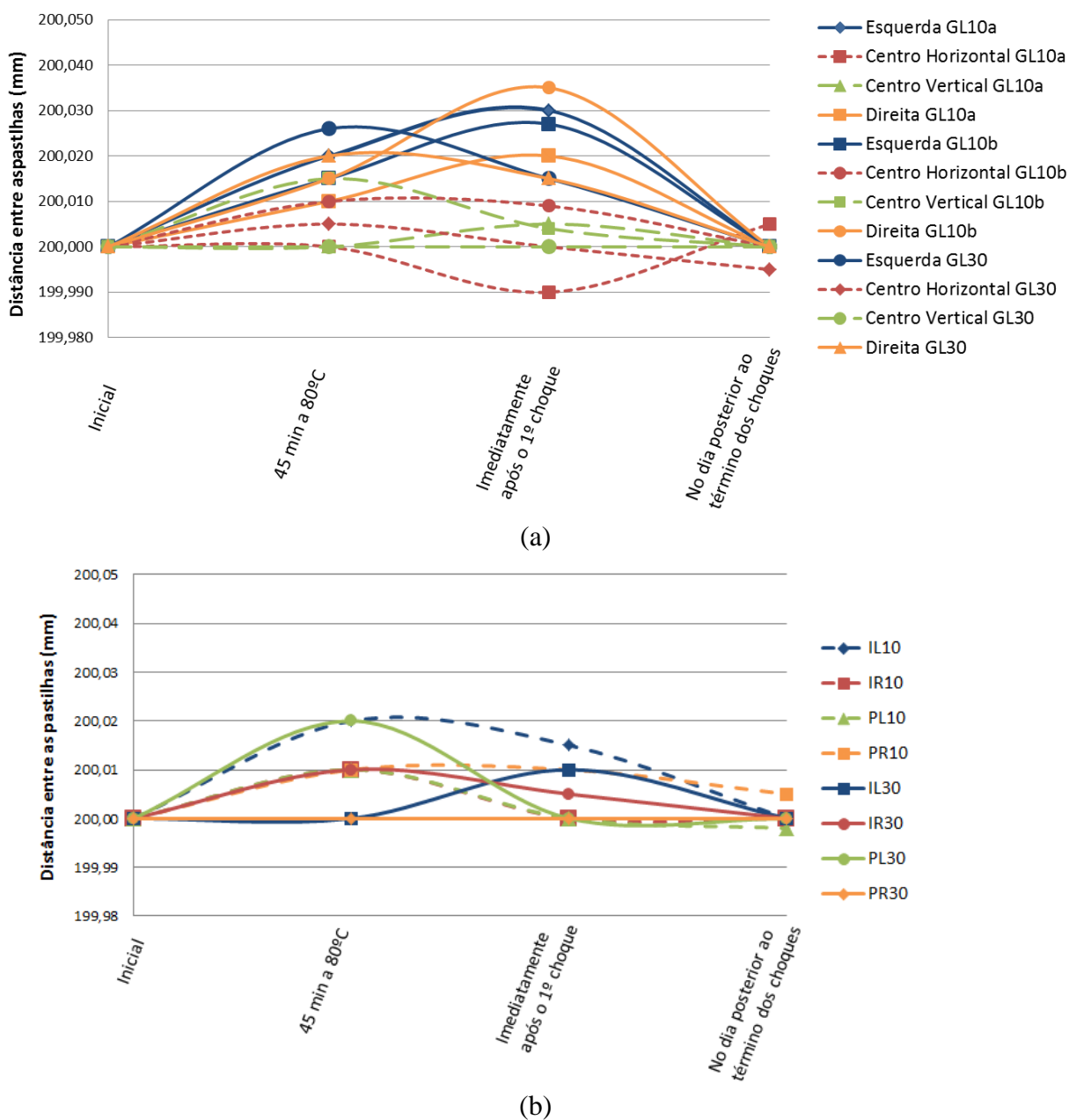
## 5.4 DILATAÇÕES

As movimentações foram mensuradas através do afastamento de pastilhas termofixas, separadas inicialmente por 200 mm. As variações lineares observadas nas amostras grandes, GL10a, GL10b e GL30, são expostas na Figura 52 (a), onde foram utilizadas linhas tracejadas para as medidas tomadas no centro e contínuas para as tomadas nas extremidades. Também se adotou cor para sinalizar a posição: a cor azul para esquerda; laranja para direita; vermelho para o centro horizontal e verde para o centro vertical. É possível identificar que as dilatações na zona central foram menores que nas extremidades, inclusive se observaram retrações no centro na GL10a após o 1º choque e na GL30 na condição final. Essa tendência sinaliza uma maior restrição quanto às movimentações térmicas no centro da amostra.

A GL10b apresentou maior dilatação no centro que os demais corpos de prova. Essa amostra foi umidificada antes do primeiro choque, devido a uma falha na bomba. Portanto, no instante da medida aos 45 minutos de aquecimento, o revestimento possivelmente apresentava umidade superior à das demais paredes, porém não se encontrava saturado, gerando desta forma a situação ideal para dilatações higrotérmicas, segundo Neville e Brooks (2013). As medições realizadas imediatamente após o término do último choque mostraram, para a GL10a, um incremento nas dilatações, com exceção da região central. Destaca-se que este choque durou apenas 3 minutos, desta forma o revestimento ainda não havia contraído por completo. A amostra GL10b, que teve o último choque com aproximadamente 5 minutos de duração, também apresentou dilatações maiores que na fase de aquecimento. Na GL30, apesar de ocorrer uma expansão em relação ao estado inicial, a leitura após o choque térmico apresentou uma dilatação inferior à observada aos 45 minutos de aquecimento. Este comportamento possivelmente deve-se ao fato do choque ter durado aproximadamente 10 minutos (devido a uma redução do fluxo de água), assim o revestimento teve mais tempo para contrair-se durante o resfriamento.



Figura 52 – Variação linear observada: (a) amostras grandes e (b) amostras reduzidas



(fonte: elaborado pela autora)

A Figura 52 (b) mostra as variações lineares mensuradas nas amostras reduzidas, onde se tomou apenas uma medida por corpo de prova. Utilizaram-se linhas tracejadas e contínuas para representar as amostras expostas a 10 e 30 choques, respectivamente. Nestas amostras, houve uma maior dilatação durante o período de aquecimento, com exceção da IL30. As amostras reduzidas que apresentaram maior dilatação foram a PL30 e IL10, cerca de 0,02 mm

que representa 0,1 mm/m. O corpo de prova PR10 apresentou uma dilatação residual, medida no dia seguinte, já o PL30 teve uma discreta retração após os choques. Não se mensurou nenhuma variação linear na combinação PR30.

Não foi possível determinar uma tendência comportamental nas variações lineares das amostras e mesmo os elementos com as restrições apresentaram dilatações. Vilató e Franco (2005) identificaram deformações longitudinais nas amostras ensaiadas, mesmo estas possuindo 2,40 m e restrições laterais. Os autores mediram as variações em temperaturas pré-determinadas através de relógios comparadores. Vilató e Franco (2005) identificaram a maior deformação, de aproximadamente 0,6 mm para toda a parede, após 1 hora de exposição a 80°C e após o resfriamento com água o corpo de prova apresentava dimensão ligeiramente maior que ao estado inicial, apesar da temperatura ser menor. Desta forma, os autores observaram uma deformação de até 0,0025 mm/cm, semelhante às dilatações identificadas no presente trabalho de 0,0015 mm/cm (0,03 mm divididos por 20 cm). Já Fontenelle (2012) observou, em uma parede composta por placas cimentícias, uma retração durante o período de aquecimento, mesmo após uma hora a 80°C. O autor conseguiu visualizar mais claramente o comportamento das variações lineares durante o choque, pois adotou um sistema de coleta de dados automático mais preciso e eficaz do que o utilizado nesta pesquisa. Desta forma, concluiu-se que para avaliar as movimentações do revestimento durante o ensaio de choques térmico é necessário a utilização de dispositivos que registrem de forma automática e continua qualquer alteração.

## 5.5 RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DE RESPOSTA

Neste item, apresentam-se possíveis relações entre os resultados observados para as diferentes variáveis de resposta. Comparando a resistência de aderência com o índice de fissuração, nota-se que no estado inicial, o índice de fissuras não influenciou a resistência de aderência. Pois, todas as amostras apresentaram resistência de aderência idêntica estatisticamente antes dos choques térmicos, mesmo com índice de fissuras bem diferentes. Contudo, o índice de fissuras de cada corpo de prova pode ter influenciado a resistência de aderência, após os choques térmicos. A amostra GL30, que apresentou o maior índice de fissuração inicial, resultou num aumento significativo da resistência de aderência e também incremento da extensão das fissuras, após o ensaio de desempenho. Possivelmente, as fissuras dessa amostra funcionaram como juntas durante os choques térmicos, atenuando e dissipando as tensões

térmicas. O corpo de prova GL10b e os lotes 1 e 2 apresentaram índice de fissuras inicial semelhante, próximo aos 2 m/m<sup>2</sup>. Dentre esses corpos de prova, apenas no lote 2 exposto a 30 choques ocorreu alteração da resistência de aderência. Contudo, no lote 2 a alteração significativa se deu graças a redução de aderência, na amostra PR30. Assim, o maior índice de fissuração inicial da GL30 pode ter evitado a degradação da mesma.

Analisando resistência de aderência com a permeabilidade dos revestimentos, esperar-se-ia que a redução da aderência implicasse num aumento da permeabilidade, devido à microfissuras causadas pela degradação do revestimento. Já no caso de um incremento da resistência de aderência por causa da hidratação da matriz cimentante, poderia entender-se que ocorreria a redução da permeabilidade dado o fechamento dos poros. Contudo, na amostra grande exposta a 30 choques térmicos, GL30, o ensaio de desempenho não alterou a permeabilidade do revestimento, apesar da aderência do revestimento ter aumentado. Já na amostra GL10b e lote 1, expostos a 10 choques, não houve alteração da resistência de aderência ou da permeabilidade após os ciclos. No lote 2, onde após os 30 choques térmicos as amostras PR30 e PL30 apresentaram resistência de aderência estatisticamente diferentes, ocorreu a redução da permeabilidade. A amostra PL30, que apresentou a média de aderência superior a PR30, resultou numa permeabilidade inferior após o ensaio de desempenho. Contudo a PR30, apesar de ter reduzido a resistência de aderência também reduziu também a permeabilidade, após os choques térmicos.

Apenas na combinação P30, foi possível relacionar o comportamento observado para as dilatações com o resultado de resistência de aderência medido. Essa amostra não apresentou dilatações, indicando que as restrições foram eficazes, esse fato pode ter contribuído para a redução da resistência de aderência observada na mesma. Nos demais corpos de prova, não foi possível relacionar o comportamento das dilatações às alterações na resistência de aderência. Destaca-se ainda que, foram observadas dilatações, em geral, menores nas amostras reduzidas, demonstrando que a auto restrição esperada para as amostras com dimensão de norma podem não ser verdadeiras.

Através da análise das amostras grandes, identificou-se que o aumento das fissuras visíveis a olho nu, não implica num aumento da permeabilidade. Uma vez que, nas amostras com dimensões de norma observou-se um aumento da extensão das fissuras, mas não da permeabilidade. Esse comportamento possivelmente se deve ao fato de não ter ocorrido

alteração da microfissuração, apenas das falhas visíveis a olho nu. Destaca-se que, o cachimbo utilizado no ensaio foi posicionado no mesmo lugar antes e depois dos choques, evitando sua fixação sobre as fissuras aparentes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência das dimensões e condições de contorno dos corpos de prova no ensaio de choques térmicos, segundo os procedimentos do anexo E da NBR 15575 parte 4 (ABNT, 2013a). Para tal, foram confeccionadas amostras de 120x240 cm, 60x40 cm e 30x40 cm, sendo as duas últimas ensaiadas livres e com restrições laterais. As variáveis de resposta adotadas foram: a resistência de aderência à tração, o índice de fissuração e a permeabilidade do revestimento. As avaliações foram realizadas em 3 momentos: antes dos choques térmicos, após 10 repetições e após 30 repetições.

A seguir apresentam-se as conclusões obtidas após a análise dos resultados, bem como sugestões para trabalhos futuros. Destaca-se que as considerações apresentadas são referentes unicamente aos resultados observados nesta pesquisa, para os materiais e métodos aqui utilizados.

### 6.1 CONCLUSÕES

Após a realização do programa experimental proposto concluiu-se:

- a) a exposição a 10 choques térmicos não afetou a resistência de aderência de nenhuma das combinações estudadas. Esse número de repetição, apesar de ser o indicado pela norma brasileira, não causou o efeito de degradação esperado, independentemente das dimensões da amostra. As restrições utilizadas não acarretaram nenhuma perda adicional da aderência, para este número de choques;
- b) a exposição a 30 choques térmicos provocou o incremento da aderência na amostra com as dimensões recomendadas pela NBR 15575. Já os corpos de prova reduzidos não apresentaram degradação, visto que as aderências mensuradas antes e após o ensaio de desempenho nas amostras reduzidas são estatisticamente idênticas. Contudo, para as amostras pequenas houve diferenciação entre as condições de contorno, livre e restringida. Entende-

se, portanto, que nessa situação as restrições laterais interferiram nos resultados;

- c) as restrições, adotadas nas amostras pequenas e intermediárias expostas a 10 e 30 choques, foram significativas em apenas uma combinação, a pequena restringida exposta a 30 choques. Possivelmente, os elementos empregados não foram capazes de conter as dilatações do revestimento e com certeza não impuseram nenhum impedimento às retrações;
- d) o processo adotado para provocar os choques térmicos pode acarretar na aceleração da hidratação da matriz cimentícia. Essa hidratação pode influenciar os resultados da resistência de aderência à tração;
- e) somente as amostras grandes sofreram alteração do índice de fissuração após os choques térmicos. Para esses corpos de prova, o maior número de choques térmicos proporcionou o maior desenvolvimento de fissuras. As amostras reduzidas não apresentaram nenhuma alteração nas fissuras identificadas no estado inicial, portanto a utilização das restrições não afetou o desenvolvimento dessas falhas;
- f) a permeabilidade das amostras grandes não foi alterada com a exposição dos choques térmicos. Apenas as amostras reduzidas livres expostas a 30 choques térmicos sofreram alteração da permeabilidade, contudo verificou-se uma redução da absorção, indicando que ocorreu um fechamento dos poros.

## 6.2 SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS

Essa pesquisa limitou-se à análise de um único sistema de vedação vertical, ensaiado em condições laboratoriais. Ao longo da realização do programa experimental identificaram-se lacunas na literatura sobre o tema, podendo essas ser objeto de novas pesquisas. Ademais, apontam-se dificuldades enfrentadas ao longo da pesquisa:

- g) para a validação dos choques térmicos como ensaio de envelhecimento acelerado, é necessária a verificação com a situação real. Portanto, no caso da resistência de aderência à tração ser adotada como variável de resposta é importante o estudo da evolução e perda da mesma ao longo do tempo em

situação real. Com esses dados disponíveis, uma comparação com o comportamento obtido após a exposição aos choques térmicos deve ser realizada;

- h) para reproduzir as condições reais de uso de um sistema, é necessário ter pleno entendimento do comportamento durante sua utilização. Desta forma, para os sistemas de vedação vertical com revestimentos aderidos é importante a averiguação em campo da movimentação higrotérmica das camadas. Assim, pode-se elaborar o sistema de restrições para que as condições de contorno em laboratório sejam idênticas à situação real.
- i) o processo utilizado para provocar os choques térmicos pode acelerar a hidratação, no caso dos elementos ensaiados serem de base cimentícias. Portanto, recomenda-se que a cura das amostras seja a maior possível ou mesmo que seja realizada uma cura térmica para acelerar o processo, antes da exposição aos choques, para que o calor incidente não afete a maturidade do revestimento.
- j) dificilmente o aquecimento do choque térmico incidirá de maneira uniforme sobre o corpo ensaiado, esse fato provoca um aumento da variabilidade. Portanto, no caso da variável de resposta ser a resistência de aderência é interessante aumentar o número de arrancamentos além dos 12 recomendados em norma, para que seja possível identificar as diferenças entre as combinações. Outra possibilidade é analisar as amostras por faixa de aquecimento, separando os resultados obtidos na zona central dos demais.

## REFERÊNCIAS

AINSWORTH, J. H.; MOORE, E. R. Fracture Behavior of Thermally Shocked Aluminum Oxide. **Journal of The American Ceramic Society**: discussions and notes, v. 52, n. 11, p.628-629, Nov. 1969.

ANTUNES, G. R.; STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. Análise da Influência do Equipamento Utilizado no Ensaio de Resistência de Aderência à Tração. In.: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS, 4., 2012, Coimbra. **Anais...** Coimbra: APFAC, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2009.



\_\_\_\_\_. **NBR 13528:** revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15812:** alvenaria estrutural: blocos cerâmicos: parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4:** edificações habitacionais desempenho parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013a.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749:** revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: especificação. Rio de Janeiro, 2013b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15498:** Placas de fibrocimento sem amianto – requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C1185-08: Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards. Pensilvânia, Estados Unidos, 2012.

AUSTRALIAN STANDARD; NEW ZEALAND STANDARD. AS/NZS 2908.2: cellulose-cement products: flat sheets. 2000.

BARBOSA, A. da S. **Estudo Numérico-Computacional E Analítico Do Choque Térmico Em Fachadas De Edificações.** 2013. 275 f. Mestrado (Dissertação De Mestrado Em Estruturas E Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013

CAMPANTE, E. F.; SABBATINI F. H. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestação patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas.** São Paulo: EPUSP, 2001. Boletim técnico.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBTA, 2005, p. 121-143.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Squeeze-flow aplicado a argamassas de revestimento:** manual de utilização. São Paulo: EPUSP, 2010. Boletim técnico. 2010.

CARINO, N. J.; LEW, H. S. **The Maturity Method:** From Theory To Application. Reprinted from the Proceedings of the 2001 Structures Congress & Exposition. 2001.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **NIT 224 -** Hydrofugation de surface. Noted'information technique, n° 224, juin 2002.

CEOTTO, L. H.; BANDUK, R. C.; NAKAKURA; E. H. Revestimentos de Argamassa: boas práticas em projeto, execução e avaliação. Porto Alegre: ANTAC, 2005. Habitare Recomendações Técnicas v. 1.

CONTE, R. L. **Alvenaria com Blocos à Base de Cinzas Pesadas da Queima do Carvão Mineral:** análise de desempenho. 2014. 115 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação

em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

COSTA, E.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.; ALMEIDA, S. Avaliação do método de ensaio brasileiro para medida da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa. IN.: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO. 2.,2007, Lisboa. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2007.

COSTA, E. B. C.; DUARTE, R. J.; CARASEK, H. Análise da influência do tipo de equipamento e do operador nos resultados de resistência de aderência dos revestimentos de argamassa. IN.: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 11.,2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006.

CRESCENCIO, R. M.; BARROS, M. M. S. B. de. A Influência Do Choque Térmico Na Resistência À Tração Do Revestimento Decorativo Monocamada. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBTA, 2003. p. 631-642.

DANIOTTI, B.; CECCONI, F. R.; PAOLINI, R.; GALLIANO, R.; FERRER, J.; BATTAGLIA, L. Durability evaluation of ETICS: analysis of failures case studies and heat and moisture transfer simulations to assess the frequency of critical events. IN: PORTUGUESE CONFERENCE ON MORTARS E ETICS, 4., 2012, Coimbra, **Anais...** Coimbra: APFAC, 2012. Não paginado.

DANIOTTI, B.; CECCONI, F.R. Accelerated laboratory test procedures and correlation between laboratory tests and service life data. **CIB W080: Test methods for service life prediction**, CIB Publication 331. 2010.

DANIOTTI, B.; PAOLINI, R. Experimental Programme to Assess ETICS Cladding Durability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS COMPONENTS, 11., 2008, Istanbul, **Anais...** Istanbul: DBMC, 2008. Não paginado.

DEMIRDAG, S. Effects of Freezing – Thawing and Thermal Shock Cycles on Physical and Mechanical Properties of Filled and Unfilled Travertines. **Construction and Building Materials**.v.47, p. 1395-1401,2013.

DIAS, L. A.; CARASE, H. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003.

DIRKX, I.; GRÉGOIRE, Y. Evaluation of the durability of ETICS: additional requirements in Belgium. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS, 4., 2012, COIMBRA, **Anais...** Coimbra: APFAC, 2012.

ESQUIVEL, J.T. **Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa**. 2009. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ESQUIVEL, J. F. T.; BARROS, M. S. S. **Choque térmico nos revestimentos de argamassa.** São Paulo: EPUSP, 2009. Boletim técnico. 2009.

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS. **Guidance Document 003:** assessment of working life of products. Brussels, 1999.

\_\_\_\_\_. **Technical Report:** Exposure procedure for artificial weathering. Brussels, 2004.

\_\_\_\_\_. **ETAG 004:** Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. Brussels, 2000. Emenda de junho de 2008.

EUROPEAN STANDARD. **EN 13687-2:** products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods: determination of thermal compatibility: part 2 – Thunder shower cycling (thermal shock). 2002.

FERNANDES, W. L. **Desempenho mecânico de revestimento interno de parede produzido com argamassa projetada aplicado sobre blocos cerâmicos lisos.** 2012. 73 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** São Paulo: Pini, 1994.

FONTENELLE, J. H. **Sistema de Fixação e Juntas em Vedações Verticais Constituídas por Placas Cimentícias:** estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental. 2012. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FONTENELLE, J. H.; MITIDIARI, C. V. F. Condição de contorno lateral dos corpos de prova submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: USP, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FU, Y. F.; WONG, Y. L.; POON, C. S.; TANG, C. A.; LIN, P. Experimental study of micro/macro crack development and stress-strain relations of cement-based composite materials at elevated temperatures. **Cement and Concrete Research.** v. 34, p.789-797, Maio 2004

GEYER, R. M. T. **Influência do Choque Térmico na Aderência de Azulejos ao Substrato.** 1994. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa:** estudo de caso. 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de tecnologia Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

GUIMARÃES, L. E.; PEREIRA, C. H. de A. F.; OLIVEIRA, K. R. B.; CARASEK, H. Acompanhamento das variações das temperaturas superficiais dos principais materiais utilizados em fachadas. In: ENCONTRO SOBRE PESQUISA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 2., 2002, Goiás. **Anais...Goiás**: UFG, 2002.

HASSELMAN, D. P. H. Elastic Energy at Fracture and Surface Energy as Design Criteria for Thermal Shock. **Journal of The American Ceramic Society**. v. 46, n. 11. p. 535-540. Nov. 1963.

\_\_\_\_\_. Strength Behavior of Polycrystalline Alumina Subjected to Thermal Shock. **Journal of the American Ceramic Society**. v. 52, n. 11. p. 600-604. Nov. 1969.

\_\_\_\_\_. Unified Theory of Thermal Shock: fracture initiation and crack propagation in brittle ceramics. **Journal of the American Ceramic Society**. v. 53, n. 09. p. 490-495. Set. 1970.

IGNATIEV, N.; CHATTERJI, S. On the mutual compatibility of mortar and concrete in composite members. **Cement & Concrete Composites**, Essex, n. 14, p.179-783, 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686 - 2:Buildings and constructed assets: service life planning: part 2: service life prediction procedures**. Suíça, 2012.

\_\_\_\_\_. **ISO 8336: fibre-cement flat sheets: product specification and test methods**. Suíça, 2009

JELLE, B. P. Evaluation of Building Products by Conducting Accelerated Climate Ageing in the Laboratory. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS COMPONENTS, 12., 2011, Porto. **Anais...** Porto: FEUP Edições, 2011.

\_\_\_\_\_. Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory. **Journal of Materials Science**. v. 47, n. 18. p.6475–6496. Mar. 2012.

JOHN, V. M.; SATO N. M. N. Durabilidade de componentes da construção. **Construção e Meio Ambiente**, Porto Alegre: Habitare, v. 7, p. 21-57, 2006.

LONGHI, M. A. **Revestimentos de argamassa industrializada sobre substrato de concreto estrutural: análise do desempenho quando submetidos a envelhecimento acelerado**. 2012. 90 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em engenharia civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

KARGOL, M. A.; MUELLER, U.; GARDEI, A.; MENG, B. Influence of Blended Cements on the Performance of Water Repellent Agents. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER REPELLENT TREATMENT OF BUILDING MATERIALS, 6., 2011, Roma. **Anais...** Roma: ISCR, 2011, p. 23-32.

KINGERY, W. D. Factors affecting thermal stress resistance of ceramic materials. **Journal of the American Ceramic Society**. v. 38, n. 1, p.3-15, 1955.

MASTERS, L. W.; BRANDT, E. Systematic methodology for service life prediction of building materials and components. **Materials and Structures**. v. 22, p. 385-392, 1989.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008.

MISZCZYK, A.; DAROWICK, K. Use of Impedance Spectroscopy to Evaluate the Durability of Protective Coating After Thermal Shock. **Corrosion Science**, v. 40, n. 4/5, p. 663-672. 1998.

MIRANDA, L. F. R.; SELMO, S. M. S. CDW recycled aggregate renderings: Part II – Analysis of the effect of materials finer than 75 lm under accelerated aging performance. **Construction and Building Materials**. 20, p. 625-633, 2006.

MORAES, F. R. **Sistema de Vedação Vertical Externo Composto Por Concreto e PVC Frente ao Ensaio De ação De Calor E Choque Térmico** :norma de desempenho NBR 15575/2013. 2015. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2015.

MORESCHI, J. C. **Propriedades Da Madeira**. 194 f. Apostila – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. Curitiba. 2014.

MOSCOSO, Y. F. M.; BARBOSA, A. S.; UCHÔA, J. B.; BEZERRA, L. M.; SA, M. Evaluation of resistance to fatigue due to thermal shock in ceramic facade coating system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRACTURE, 13., 2013, Beijing. **Anais...** Beijing: ICF: 2013. Não paginado.

NAHUZ, M. A. R. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013. Tradução de CREMONI, R. A.

NORDTEST. **NT Build 495**: building materials and components in the vertical position: exposure to accelerated climatic strains. Finland, 2000.

OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H. MITIDIERI FILHO, C. V. Durabilidade de fachadas: métodos de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p.53-67. out./dez. 2014.

PERES, L. D. P.; BARBOSA, M. P.; PINTO, R. C. A. E terminação Da Energia De Ativação Para cimentos Nacionais Aplicando O Procedimento ASTM C 1074-98. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45., 2003, Vitória. **Anais...** Vitória: IBRACON, 2003. Não paginado.

QUINTELA, M. B. O. A. **Durabilidade de Revestimentos Exteriores de Parede em Reboco Monocamada**. 2006.177 p. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto.

RANSOM, W. H. **Building Failures**: diagnosis and avoidance. Abingdon: ROUTLEDGE.1987.

ROMAN, L. M. F.; SAGAVE, A. ROMAN, H. R.; ALARCON, O. E. **Análise da resistência de aderência em sistemas de revestimento cerâmico submetidos a ciclos higrotérmicos.** ENTAC, 2000.

SARAIVA, A. G.; BAUER, E.; GONÇALVES, S. R. Variabilidade de aderência de revestimentos de argamassa. **Techne.** São Paulo: Pini, 2010.

SENTENA, J. A. A. **Avaliação Da Durabilidade De Argamassas Com Adição De Fíler De Arc Por Meio De Ciclos Térmicos.** 2015. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

SILVA, A. J. C.; MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. R. Avaliação da influência da altura na resistência de aderência de argamassas de revestimento aplicadas por projeção mecânica. In.: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 10., 2013, Fortaleza. Anais...** Fortaleza: SBTA, 2013.

SILVA, D.A.; ROMAN, L. M. F.; FREDEL, M. C.; ROMAN, H. R. Theoretical analysis on the thermal stresses of ceramic tile coating systems. In: **INTERNATIONAL CONFÉRENCE ON DURABILITY OF BUILDING AND COMPONENTS, 8. 1999, Ottawa. Anais...** Ottawa: Institute for Research in Construction, 1999. p. 603-612.

TEMOCHE, J. F.; BARROS, M. Estudo do comportamento mecânico de argamassas de revestimento devido ao choque térmico. In: **CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2010, 3. 2010, Lisboa. Anais...** Lisboa: APFAC, 2010. Não paginado.

TIMOSHENKO, S.; GOODIER, J. N. **Theory of Elasticity.** EUA: McGraw-Hill Book Company, 1951. p. 506.

TOPCU, D.; MERKEL, H. Durability of External Wall Insulation Systems with Extruded Polystyrene Insulation Boards. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 2008, 11. 2008, Istanbul. Anais...** Istanbul: DBMC, 2008.

UCHÔA, J. C. B. **Procedimento numérico e experimental para a avaliação da resistência à fadiga de sistemas de revestimento.** 2007. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília. 2009.

YANG, W; ZHENG, S. S.; ZHANG, D. Y.; SUN, L. F.; GAN, C. L. Seismic behaviors of squat reinforced concrete shear walls under freeze-thaw cycles: A pilot experimental study. **Engineering Structures.** v. 124, p. 49-63, 2016.

YAVUZ, H. Effect of freeze–thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite stone. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment.**v.70, n. 2, p. 187-192, 2011.

VARISCO, M. Q. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa.** 2014. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Institutos de Tecnologia para o Desenvolvimento, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2014.

VECCHIO, F. J.; SATO J. A. **Thermal Gradient Effects in Reinforced Concrete Frame Structures**. ACI Structural Journal. v. 87. 1990. p.262-275.

VEIGA, R.; CARVALHO, F; SOUSA, F.; Experimental Evaluation Of Water tightness Of Single Leaf Walls. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 2000, 12. 2000, Madri. **Anais...** Madrid: Polytechnic Unversity Of Madrid, 2000.

VELOSA, A.; VEIGA, M. R. Development of artificial ageing tests for renders: application to conservation mortars. In: PROCEEDINGS OF 7TH INTERNATIONAL BRICK MASONRY CONFERENCE, 7. 2006, Londres. **Anais...** Londres: IBMAC, 2006.

VILATÓ, R.R.; FRANCO, L. S. **Resistência à Penetração da Água de Chuva da Alvenaria Estrutural**. Boletim técnico.São Paulo: EPUSP, 2005.

## **APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS**



	Medidas das faces – dimensões			Espessura dos septos e paredes externas				Planeza e Esquadro		Área Bruta - Ab (cm <sup>2</sup> )		
	Amostra	L (cm)	H (cm)	C (cm)	Septo Interno (mm)	Paredes Externas (mm)					D (mm)	F (mm)
						01	02	03	04			
NBR 15270:3	01	14,0	19,2	29,4	7,48	9,06	9,19	10,31	10,10	4,0	0,0	411,6
	02	13,7	19,1	29,2	7,34	9,76	9,79	9,03	9,20	0,0	1,5	400,0
	03	14,0	19,0	29,1	7,77	9,78	9,22	9,74	9,35	0,0	4,5	407,4
	04	13,9	18,9	28,8	8,45	9,33	8,62	9,22	8,98	0,0	3,2	400,3
	05	14,1	19,0	29,1	7,58	8,87	8,64	9,61	9,06	0,0	2,0	410,3
	06	14,1	19,0	29,2	7,89	11,15	9,43	11,30	10,64	0,0	2,1	411,7
	07	14,1	18,9	28,9	9,72	8,03	9,17	8,85	10,60	0,0	0,0	407,5
	08	14,1	19,3	29,3	8,84	10,51	11,40	9,56	10,51	0,0	0,6	413,1
	09	14,0	19,1	28,5	8,43	10,40	9,39	9,72	9,33	0,0	0,0	399,0
	10	14,1	19,0	29,0	9,58	8,79	10,76	8,64	9,92	0,0	0,0	408,9
	11	14,1	19,2	29,3	9,08	10,16	9,99	9,82	10,35	0,0	2,3	413,1
	12	14,0	19,0	28,9	8,60	9,08	9,31	9,32	10,94	0,0	2,9	404,6
	13	13,9	19,2	29,0	7,72	8,23	9,20	9,49	9,60	0,0	3,0	403,1
	<b>Média</b>	<b>14,0</b>	<b>19,1</b>	<b>29,1</b>	<b>8,3</b>	<b>9,5</b>	<b>9,5</b>	<b>9,6</b>	<b>9,9</b>	<b>0,3</b>	<b>1,7</b>	<b>407,0</b>

## Índice de Absorção de Água

	Amostra	Massa Seca	Massa Úmida	Índice de Absorção de
		(g)	(g)	Água
NBR 15270:3	01	6006	6820	13,55%
	02	6032	6738	11,70%
	03	6018	6758	12,30%
	04	6046	6786	12,24%
	05	6168	6766	9,70%
	06	6108	6854	12,21%

## Resistência à compressão

	Amostra	Carga Máxima	Área Bruta -	Resistência à
		Suportada (KN)	Ab (cm <sup>2</sup> )	Compressão
NBR 15270:3	01	536,6	396,9	13,52
	02	261,6	401,0	6,52
	03	413,7	402,5	10,28
	04	267,8	401,0	6,68
	05	464,1	402,5	11,53
	06	347,7	402,5	8,64
	07	322,5	402,5	8,01
	08	329,1	401,1	8,21
	09	275,0	403,9	6,81
	10	360,3	394,1	9,14
	11	355,5	400,3	8,88
	12	388,8	403,2	9,64
	13	413,7	405,3	10,21
	<b>Média</b>	<b>364,34</b>	<b>401,29</b>	<b>9,08</b>

## **APÊNDICE B – AMOSTRAS DE REFERÊNCIA**

Os ciclos do ensaio de desempenho podem provocar a aceleração da cura dos aglomerantes da argamassa de revestimento. Sabe-se que existe relação entre a cura do material e a área sob a curva temperatura x tempo (CARINO E LEW, 2001). Para determinar qual o possível acréscimo que o calor dos choques térmicos poderia causar na resistência de aderência do revestimento, amostras de referência foram expostas à temperatura de 80 °C, por tempo suficiente para que a área do gráfico temperatura x tempo fosse similar à obtida para os choques térmicos. Os corpos de prova para este procedimento foram confeccionados com os mesmos materiais e métodos dos demais utilizados na pesquisa.

Para esta cura equivalente, mantiveram-se os elementos em estufa por um período pré-determinado. A fim de que houvesse umidade no meio, bandejas metálicas com água foram dispostas no interior da estufa, conforme a. Para garantir que o processo fosse semelhante aos choques, os corpos de prova foram esporadicamente molhados com a água das bandejas, que se encontrava a 80°C. Mediu-se a umidade relativa no interior da estufa através de um termohigrômetro digital, e sempre que esta ultrapassou o limite de 90%, os recipientes com água foram removidos.

Para simular o efeito provocado por 30 choques térmicos, as amostras foram mantidas 43 horas dentro da estufa. Essa foi programada para atingir o patamar de 80 °C em 2 horas e o resfriamento se deu de forma lenta com o desligamento da estufa, evitando assim que ocorresse um choque térmico. A Figura 54 (a) mostra o procedimento adotado, que totalizou uma área de 138,75 °C.dia. Para as amostras equivalentes a 10 choques, o processo levou 19h e foi realizado em duas etapas, pois caso contrário o término do período aquecido aconteceria durante a madrugada. Nesse caso, a área sob o gráfico tempo versus temperatura, Figura 54 (b), é igual a 50,83 °C.dia. Ressalta-se que foi controlada a temperatura ambiente no interior da estufa e não na superfície do corpo de prova.

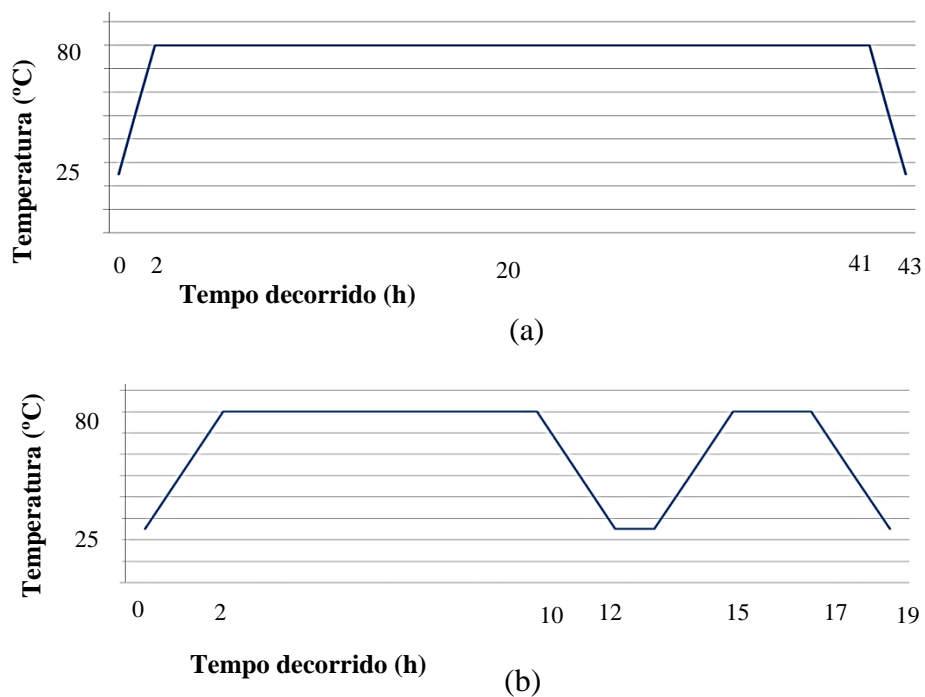
Figura 53 – Amostras de referência dentro da estufa para cura à temperatura de 80°C



(fonte: elaborado pela autora)

Este período de cura ocorreu com os revestimentos em igual idade ao dos expostos aos choques térmicos, ou seja, com 33 dias. A aderência deste sistema foi avaliada aos 28 e 40 dias, da mesma forma que os elementos expostos aos choques.

Figura 54 – Tempo e temperatura adotados para o procedimento de cura: (a) simulação de 30 choques e (b) simulação de 10 choques



(fonte: elaborado pela autora)

O estado inicial da resistência de aderência destes elementos, mensurado aos 28 dias, foi de 0,62 MPa. A exposição ao calor equivalente a 10 e 30 choques térmicos acarretou em resistências de aderência de 0,76 e 0,83 MPa, respectivamente, conforme consta na Tabela 31. Portanto, o procedimento de cura equivalente a 10 e 30 choques incrementou a resistência de aderência à tração em 22% e 34%, respectivamente. Contudo, estatisticamente as 3 médias observadas são iguais, conforme a Tabela 32. Destaca-se, porém, que a probabilidade de significância encontrada foi de 5,8%, muito próxima ao limite estabelecido de 5%. Pela comparação de média pelo método de Tukey, Tabela 33, a combinação equivalente a 30 choques é igual ao estado inicial apenas por 0,01 MPa.

Tabela 31 – Valores de resistência de aderência à tração das amostras de referência

CP	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Local da extração	Subst	Interface (%)				
							Subst/Chapis	Chapisco	Chapis/Arg	Argamassa	
Inicial	1	0,72	0,62	0,19	30,11	bloco	1	0	40	34	25
	2	0,39				junta	0	10	15	15	60
	3	0,67				bloco	0	25	25	15	35
	4	0,67				bloco	0	0	15	15	70
	5	0,96				junta	0	0	15	25	60
	6	0,77				bloco	0	0	35	0	65
	7	0,57				bloco	0	0	30	30	40
	8	0,80				junta	0	3	17	40	40
	9	0,66				bloco	0	0	35	15	50
	10	0,51				bloco	0	0	70	15	15
	11	0,48				junta	0	60	10	0	30
	12	0,29				bloco	0	100	0	0	0
						total	0,08	16,50	25,58	17,00	40,83
Equivalente a 10 choques	1	0,80	0,76	0,18	23,81	bloco	0	10	40	30	20
	2	0,61				bloco	0	5	50	30	15
	3	0,88				junta	0	0	25	45	30
	4	-				ruptura superficial					
	5	0,47				bloco	0	0	50	10	40
	6	0,94				bloco	0	0	60	10	30
	7	0,63				bloco	0	0	10	40	50
	8	0,64				bloco	0	0	5	10	85
	9	-				ruptura superficial					
	10	1,00				junta	0	10	10	20	60
	11	0,89				bloco	1	0	45	34	20
	12	-				perdido no corte					
						total	0,11	2,78	32,78	25,44	38,89
Equivalente a 30 choques	1	0,67	0,83	0,24	28,79	bloco	0	0	30	0	70
	2	1,00				bloco	2	0	40	33	25
	3	1,03				junta	0	0	30	20	50
	4	1,02				junta	0	0	20	30	50
	5	0,58				bloco	0	0	15	5	80
	6	0,58				bloco	0	0	20	30	50
	7	1,12				bloco	2	0	20	38	40
	8	1,11				junta	0	0	5	15	80
	9	0,44				junta	0	60	5	0	35
	10	0,81				bloco	2	0	28	50	20
	11	0,79				bloco	0	0	25	55	20
	12	-				perdido no corte					
						total	0,55	5,45	21,64	25,09	47,27

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 32 – ANOVA da resistência de aderência à tração das amostras de referência

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
Referências: inicial e equivalentes a 10 e 30 choques	0,27	2	0,13	3,15	5,8%	NÃO
Erro	1,23	29,00	0,04			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 33 – Comparação múltipla de médias das amostras de referência

Comparação	$n_c$	Limite de decisão (MPa)	Diferença entre as médias (MPa)	Situação
Inicial - Equivalente a 10	10,50	0,23	0,14	IGUAIS
Inicial - Equivalente a 30	11,50	0,22	0,21	IGUAIS
Equiv. a 10 - Equiv. a 30	10,00	0,23	0,07	IGUAIS

nc: média do número de observações;

(fonte: elaborado pela autora)

Aplicando-se os incrementos de 22 e 34% à resistência de aderência inicial observada nas amostras expostas a 10 e 30 choques, respectivamente, obtêm-se os valores expostos na Tabela 34.

Tabela 34 – Resistência de aderência majorada pelo fator encontrado nas amostras de referência

Amostra	Aderência Inicial Observada (MPa)	Fator de majoração (%)	Aderência Inicial majorada (MPa)
GL10b	0,64	22	0,78
GL30	0,61	34	0,82
LOTE 1	0,65	22	0,80
LOTE 2	0,57	34	0,77

(fonte: elaborado pela autora)

Os valores majorados do estado inicial foram adotados para uma nova comparação estatística da resistência de aderência antes e após os choques de cada amostra. Conforme mostra a Tabela 35, na amostra GL10b, a aderência antes dos choques térmicos passou a ser estatisticamente diferente à resistência mensurada após os 10 choques térmicos, essa igual a 0,63 MPa.

Tabela 35 – ANOVA da resistência de aderência à tração da amostra GL10b com o estado inicial majorado e o resultado após os 10 choques

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
<b>GL10b: inicial majorado 22% e após os 10 choques</b>	0,17	1	0,17	4,71	3,6%	SIM
<b>Erro</b>	1,45	40,00	0,04			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Para as amostras pequenas e intermediárias expostas a 10 choques, mesmo com o incremento da resistência de aderência inicial, a exposição a 10 choques não foi um fator significativo, pois a resistência de aderência dos corpos de prova antes e após os ciclos continuam estatisticamente iguais. Porém, cabe destacar que a probabilidade de significância calculada, 13,5% conforme a Tabela 36, é bem inferior à probabilidade de 83,6% encontrada quando não utilizada a majoração do estado inicial da resistência de aderência, dada na Tabela 19.

Tabela 36 – ANOVA da resistência de aderência à tração das amostras PR10, PL10, IR10 e IL10 com o estado inicial majorado e os resultados após os 10 choques

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
<b>Lote 1: inicial majorado 22% e após os 10 choques</b>	0,26	4	0,06	1,82	13,5%	NÃO
<b>Erro</b>	2,31	66,00	0,04			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Na amostra GL30, a majoração da resistência de aderência inicial tornou-a estatisticamente igual à aderência observada após 30 choques, conforme a Tabela 37. Isso ocorreu, pois esse corpo de prova apresentou após os 30 choques um aumento da aderência, sendo essa igual a 0,80 MPa.

Tabela 37 – ANOVA da resistência de aderência à tração da amostra GL30 com o estado inicial majorado e o resultado após os 30 choques

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
<b>GL30: inicial majorado 34% e após os 30 choques</b>	0,00	1	0,00	0,08	77,5%	NÃO
<b>Erro</b>	1,65	47,00	0,04			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 38 traz a análise de variância das amostras pequenas e intermediárias expostas a 30 choques e sua resistência de aderência à tração inicial majorada, representada pelo lote 2. Nota-se que existe diferença estatística, contudo no item 5.1.2.4 já havia sido identificada a diferença entre os níveis PL30 e PR30. Portanto, utilizou-se a comparação múltipla de médias para identificar quais amostras são diferentes do estado inicial majorado. Essa análise, exposta na Tabela 39, mostrou que apenas a PL30 pertence a mesma população do estado inicial, sendo a PR30, IL30 e IR30 diferentes estatisticamente da aderência inicial majorada.

Tabela 38 – ANOVA da resistência de aderência à tração das amostras PR30, PL30, IR30 e IL30 com o estado inicial majorado e os resultados após os 30 choques

Fonte	SQ	NGL	MQ	Teste F	Prob.	Sign.
<b>Lote 2: inicial majorado 34% e após os 30 choques</b>	0,85	4	0,21	6,66	0,0%	SIM
<b>Erro</b>	2,11	66,00	0,03			

SQ: soma quadrática; GLD: grau de liberdade; MQ: média quadrática

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 39 – Comparação de médias entre as amostras pequenas e intermediárias expostas a 30 choques com seu estado inicial

Comparação	$n_c$	$S_x$	Limite de decisão (Mpa)	Diferença entre as médias (Mpa)	Situação
Inicial - IL30	18,50	0,04	0,12	0,21	<b>DIFERENTES</b>
Inicial - PL30	19,50	0,04	0,12	0,09	IGUAIS
Inicial - IR30	18,00	0,04	0,13	0,14	<b>DIFERENTES</b>
Inicial - PR30	18,50	0,04	0,12	0,30	<b>DIFERENTES</b>

nc: média do número de observações; Sx: desvio padrão das médias amostrais

(fonte: elaborado pela autora)

As análises realizadas indicam que possivelmente os procedimentos utilizados para provocar os choques térmicos influenciam os resultados da resistência de aderência. O calor incidente durante o ensaio provoca tensões térmicas na amostra, contudo também pode acelerar a hidratação no caso de sistemas com revestimento de argamassa. É possível que os ganhos gerados pela hidratação superem ou igualem-se à deterioração provocada pelo choque em si. Ressalta-se que é necessário um maior número de ensaio para confirmar essa hipótese, bem como um aprofundamento sobre os mecanismos de hidratação no revestimento exposto a choques térmicos.



## **APÊNDICE C – LEITURAS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE**

		Estado Inicial								
Minutos	Leituras (ml)						Média	Desvio Padrão	Coef. De variação	
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6				
GL10b	1	0,00	-	0,05	0,00	0,10	0,10	0,05	0,05	100,00%
	2	0,05	-	0,10	0,00	0,15	0,10	0,08	0,06	71,26%
	3	0,10	-	0,15	0,00	0,20	0,10	0,11	0,07	67,42%
	4	0,10	-	0,15	0,05	0,20	0,10	0,12	0,06	47,51%
	5	0,15	-	0,20	0,10	0,25	0,10	0,16	0,07	40,75%
	6	0,20	-	0,25	0,10	0,25	0,15	0,19	0,07	34,31%
	7	0,25	-	0,25	0,10	0,25	0,15	0,20	0,07	35,36%
	8	0,30	-	0,30	0,15	0,30	0,15	0,24	0,08	34,23%
	9	0,30	-	0,35	0,15	0,30	0,20	0,26	0,08	31,60%
	10	0,30	-	0,35	0,15	0,30	0,20	0,26	0,08	31,60%
	11	0,35	-	0,40	0,20	0,30	0,25	0,30	0,08	26,35%
	12	0,35	-	0,40	0,20	0,35	0,30	0,32	0,08	23,70%
	13	0,40	-	0,40	0,20	0,35	0,30	0,33	0,08	25,35%
	14	0,40	-	0,45	0,25	0,35	0,30	0,35	0,08	22,59%
	15	0,45	-	0,45	0,25	0,40	0,30	0,37	0,09	24,55%

		Após 10 choques								
Minutos	Leituras (ml)						Média	Desvio Padrão	Coef. De variação	
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6				
GL10b	1	0,10	0,10	0,05	0,00	0,05	0,05	0,05	0,04	75,28%
	2	0,10	0,12	0,10	0,05	0,10	0,10	0,09	0,02	24,95%
	3	0,12	0,15	0,10	0,10	0,10	0,15	0,12	0,02	20,41%
	4	0,20	0,20	0,15	0,20	0,20	0,20	0,19	0,02	10,74%
	5	0,20	0,21	0,18	0,25	0,20	0,25	0,22	0,03	13,22%
	6	0,21	0,25	0,20	0,30	0,20	0,30	0,25	0,05	19,04%
	7	0,25	0,27	0,20	0,30	0,20	0,35	0,26	0,06	22,14%
	8	0,27	0,30	0,22	0,30	0,20	0,35	0,27	0,06	20,34%
	9	0,30	0,30	0,27	0,33	0,22	0,40	0,30	0,06	19,81%
	10	0,31	0,30	0,29	0,40	0,24	0,45	0,34	0,08	23,40%
	11	0,31	0,30	0,30	0,43	0,25	0,50	0,36	0,09	26,63%
	12	0,35	0,31	0,30	0,45	0,25	0,50	0,36	0,10	26,50%
	13	0,37	0,31	0,30	0,48	0,25	0,50	0,37	0,10	27,46%
	14	0,40	0,33	0,31	0,50	0,25	0,50	0,38	0,10	27,36%
	15	0,40	0,35	0,35	0,50	0,30	0,51	0,40	0,09	21,42%

Estado Inicial

Minutos	Leituras (ml)						Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6			
1	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03	0,05	154,92%
2	0,15	0,15	0,00	0,05	0,10	0,15	0,10	0,06	63,25%
3	0,20	0,20	0,03	0,08	0,13	0,20	0,14	0,08	54,85%
4	0,25	0,23	0,05	0,10	0,15	0,20	0,16	0,08	47,42%
5	0,30	0,25	0,10	0,13	0,15	0,20	0,19	0,08	41,10%
6	0,35	0,30	0,13	0,15	0,15	0,25	0,22	0,09	42,00%
7	0,40	0,33	0,15	0,15	0,15	0,25	0,24	0,11	45,03%
8	0,43	0,35	0,15	0,15	0,20	0,25	0,25	0,11	44,17%
9	0,45	0,35	0,15	0,15	0,20	0,30	0,27	0,12	45,41%
10	0,50	0,38	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30	0,12	38,35%
11	0,50	0,40	0,23	0,20	0,25	0,35	0,32	0,12	36,55%
12	0,51	0,43	0,25	0,20	0,25	0,35	0,33	0,12	35,79%
13	0,51	0,45	0,25	0,20	0,25	0,35	0,34	0,12	36,98%
14	0,51	0,50	0,25	0,20	0,30	0,38	0,36	0,13	36,32%
15	0,52	0,50	0,30	0,25	0,30	0,40	0,38	0,11	29,66%

Após 30 choques

Minutos	Leituras (ml)						Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6			
1	0,10	0,10	0,00	0,00	0,05	0,10	0,06	0,05	84,27%
2	0,15	0,15	0,05	0,05	0,10	0,20	0,12	0,06	51,90%
3	0,20	0,20	0,05	0,10	0,10	0,30	0,16	0,09	57,94%
4	0,30	0,30	0,05	0,12	0,12	0,35	0,21	0,12	60,25%
5	0,40	0,40	0,10	0,15	0,15	0,45	0,28	0,16	57,21%
6	0,50	0,45	0,10	0,15	0,18	0,45	0,31	0,18	58,97%
7	0,50	0,50	0,15	0,18	0,20	0,48	0,34	0,17	52,04%
8	0,51	0,50	0,15	0,20	0,20	0,50	0,34	0,18	51,19%
9	0,51	0,51	0,20	0,23	0,20	0,50	0,36	0,16	45,15%
10	0,51	0,51	0,20	0,28	0,20	0,51	0,37	0,16	42,73%
11	0,51	0,51	0,20	0,29	0,20	0,51	0,37	0,16	42,39%
12	0,51	0,51	0,20	0,30	0,20	0,52	0,37	0,16	42,09%
13	0,51	0,51	0,20	0,30	0,20	0,52	0,37	0,16	42,24%
14	0,53	0,53	0,20	0,30	0,21	0,52	0,38	0,16	42,33%
15	0,53	0,53	0,2	0,35	0,25	0,52	0,40	0,15	37,92%

Estado Inicial

Minutos	Leituras (ml)					Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5			
1	0,10	0,20	0,10	0,00	0,00	0,08	0,08	104,58%
2	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,16	0,05	34,23%
3	0,20	0,30	0,30	0,15	0,20	0,23	0,07	29,17%
4	0,25	0,40	0,40	0,20	0,33	0,32	0,09	28,36%
5	0,30	0,50	0,45	0,30	0,45	0,40	0,09	23,39%
6	0,40	0,50	0,50	0,33	0,50	0,45	0,08	17,48%
7	0,40	0,60	0,60	0,40	0,60	0,52	0,11	21,07%
8	0,45	0,60	0,60	0,50	0,70	0,57	0,10	17,10%
9	0,50	0,70	0,65	0,50	0,70	0,61	0,10	16,80%
10	0,50	0,70	0,70	0,50	0,80	0,64	0,13	20,96%
11	0,55	0,70	0,80	0,60	0,85	0,70	0,13	18,21%
12	0,60	0,80	0,85	0,65	0,90	0,76	0,13	17,03%
13	0,62	0,85	0,90	0,70	1,00	0,81	0,15	18,82%
14	0,70	0,90	1,00	0,70	1,00	0,86	0,15	17,63%
15	0,70	1,00	1,00	0,75	1,05	0,90	0,16	18,00%

LOTE 1

IL10

## Após 10 choques

Minutos	Leituras (ml)			Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Intermediário Livre					
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3			
1	0,10	0,10	0,30	0,17	0,12	69,28%
2	0,20	0,21	0,50	0,30	0,17	56,17%
3	0,30	0,35	0,50	0,38	0,10	27,15%
4	0,40	0,40	0,61	0,47	0,12	25,80%
5	0,55	0,50	0,70	0,58	0,10	17,84%
6	0,60	0,50	0,80	0,63	0,15	24,12%
7	0,62	0,52	0,90	0,68	0,20	28,97%
8	0,70	0,60	0,95	0,75	0,18	24,04%
9	0,80	0,70	1,00	0,83	0,15	18,33%
10	0,82	0,70	1,10	0,87	0,21	23,50%
11	0,90	0,75	1,12	0,92	0,19	20,16%
12	0,97	0,80	1,20	0,99	0,20	20,28%
13	1,00	0,81	1,29	1,03	0,24	23,39%
14	1,02	0,88	1,30	1,07	0,21	20,05%
15	1,10	0,90	1,32	1,11	0,21	18,98%

## Após 10 choques

Minutos	Leituras (ml)				Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Intermediário Restringido						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			
1	0,15	0,10	0,20	0,20	0,16	0,05	29,46%
2	0,21	0,2	0,30	0,40	0,28	0,09	33,60%
3	0,30	0,3	0,50	0,50	0,40	0,12	28,87%
4	0,40	0,35	0,51	0,55	0,45	0,09	20,60%
5	0,45	0,40	0,60	0,60	0,51	0,10	20,11%
6	0,50	0,50	0,70	0,70	0,60	0,12	19,25%
7	0,52	0,51	0,80	0,80	0,66	0,16	25,03%
8	0,60	0,60	0,85	0,80	0,71	0,13	18,46%
9	0,60	0,65	0,90	0,90	0,76	0,16	20,99%
10	0,65	0,70	0,95	0,95	0,81	0,16	19,70%
11	0,70	0,71	1,00	1,00	0,85	0,17	19,98%
12	0,70	0,80	1,07	1,00	0,89	0,17	19,26%
13	0,72	0,82	1,10	1,05	0,92	0,18	19,72%
14	0,79	0,90	1,15	1,10	0,99	0,17	17,16%
15	0,80	0,90	1,20	1,15	1,01	0,19	19,07%

IR10

## Após 10 choques

Minutos	Leituras (ml)			Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Pequeno Livre					
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3			
1	0,10	0,02	0,20	0,11	0,09	84,55%
2	0,20	0,18	0,20	0,19	0,01	5,97%
3	0,30	0,3	0,30	0,30	0,00	0,00%
4	0,45	0,30	0,40	0,38	0,08	19,92%
5	0,50	0,40	0,40	0,43	0,06	13,32%
6	0,60	0,50	0,50	0,53	0,06	10,83%
7	0,68	0,50	0,52	0,57	0,10	17,41%
8	0,70	0,53	0,60	0,61	0,09	14,01%
9	0,80	0,60	0,60	0,67	0,12	17,32%
10	0,90	0,65	0,65	0,73	0,14	19,68%
11	0,90	0,70	0,70	0,77	0,12	15,06%
12	1,00	0,72	0,80	0,84	0,14	17,17%
13	1,05	0,80	0,80	0,88	0,14	16,34%
14	1,10	0,80	0,82	0,91	0,17	18,50%
15	1,20	0,85	0,85	0,97	0,20	20,90%

PL10

## Após 10 choques

Minutos	Leituras (ml)				Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Pequeno Restringido						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			
1	0,10	0,20	0,10	0,10	0,13	0,05	40,00%
2	0,20	0,31	0,30	0,20	0,25	0,06	24,06%
3	0,20	0,50	0,30	0,30	0,33	0,13	38,72%
4	0,50	0,50	0,40	0,32	0,43	0,09	20,27%
5	0,50	0,60	0,50	0,40	0,50	0,08	16,33%
6	0,55	0,61	0,51	0,50	0,54	0,05	9,20%
7	0,60	0,70	0,60	0,55	0,61	0,06	10,27%
8	0,70	0,73	0,69	0,61	0,68	0,05	7,51%
9	0,78	0,80	0,70	0,70	0,75	0,05	7,06%
10	0,80	0,83	0,78	0,70	0,78	0,06	7,15%
11	0,85	0,90	0,80	0,80	0,84	0,05	5,72%
12	0,90	0,95	0,89	0,80	0,89	0,06	7,06%
13	0,95	1,00	0,90	0,82	0,92	0,08	8,37%
14	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98	0,05	5,13%
15	1,01	1,03	1,00	0,92	0,99	0,05	4,88%

PR10

## Estado Inicial

Minutos	Leituras (ml)								Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8			
1	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,30	0,20	0,11	0,12	110,79%
2	0,30	0,10	0,00	0,20	0,30	0,15	0,48	0,40	0,24	0,16	65,97%
3	0,40	0,30	0,10	0,25	0,40	0,20	0,53	0,50	0,34	0,15	44,51%
4	0,50	0,45	0,20	0,30	0,50	0,40	0,70	0,52	0,45	0,15	33,86%
5	0,60	0,55	0,30	0,38	0,52	0,50	0,80	0,60	0,53	0,15	28,41%
6	0,70	0,60	0,32	0,48	0,60	0,60	0,90	0,70	0,61	0,17	27,70%
7	0,78	0,80	0,40	0,52	0,70	0,70	1,00	0,80	0,71	0,18	25,85%
8	0,90	0,90	0,45	0,60	0,79	0,80	1,05	0,85	0,79	0,19	23,71%
9	0,93	1,00	0,50	0,61	0,80	0,80	1,10	0,95	0,84	0,20	24,13%
10	1,00	1,00	0,50	0,70	0,90	0,90	1,20	1,00	0,90	0,21	23,76%
11	1,05	1,10	0,51	0,70	0,95	1,00	1,30	1,10	0,96	0,25	25,85%
12	1,20	1,15	0,55	0,80	1,00	1,00	1,40	1,18	1,04	0,26	25,50%
13	1,20	1,25	0,60	0,80	1,05	1,12	1,49	1,20	1,09	0,28	25,43%
14	1,30	1,30	0,62	0,90	1,10	1,20	1,52	1,30	1,16	0,28	24,33%
15	1,40	1,40	0,70	0,92	1,20	1,30	1,60	1,40	1,24	0,29	23,72%

LOTE 2

## Após 30 choques

Minutos	Leituras (ml)				Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Intermediário Livre						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			
1	0,00	0,20	0,05	0,10	0,09	0,09	97,59%
2	0,01	0,35	0,08	0,20	0,16	0,15	93,12%
3	0,05	0,4	0,10	0,30	0,21	0,17	77,74%
4	0,05	0,48	0,15	0,38	0,27	0,20	75,12%
5	0,10	0,50	0,20	0,40	0,30	0,18	60,86%
6	0,10	0,60	0,20	0,50	0,35	0,24	68,01%
7	0,10	0,60	0,20	0,50	0,35	0,24	68,01%
8	0,12	0,68	0,21	0,51	0,38	0,26	68,52%
9	0,15	0,70	0,25	0,55	0,41	0,26	62,10%
10	0,18	0,70	0,30	0,60	0,45	0,25	55,09%
11	0,20	0,80	0,30	0,60	0,48	0,28	57,97%
12	0,20	0,80	0,30	0,65	0,49	0,28	58,25%
13	0,20	0,81	0,30	0,70	0,50	0,30	59,27%
14	0,21	0,90	0,31	0,70	0,53	0,32	61,29%
15	0,21	0,90	0,35	0,70	0,54	0,32	58,58%

IL30

## Após 30 choques

Minutos	Leituras (ml)				Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Intermediário Restringido						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			
1	0,08	0,05	0,00	0,10	0,06	0,04	75,64%
2	0,10	0,18	0,20	0,20	0,17	0,05	28,01%
3	0,20	0,28	0,30	0,30	0,27	0,05	17,63%
4	0,30	0,30	0,40	0,30	0,33	0,05	15,38%
5	0,30	0,38	0,47	0,32	0,37	0,08	20,77%
6	0,35	0,48	0,50	0,40	0,43	0,07	16,17%
7	0,40	0,50	0,51	0,42	0,46	0,06	12,15%
8	0,48	0,51	0,70	0,45	0,53	0,11	21,19%
9	0,50	0,60	0,70	0,50	0,58	0,10	16,65%
10	0,50	0,79	0,80	0,50	0,65	0,17	26,31%
11	0,58	0,80	0,80	0,50	0,67	0,15	22,93%
12	0,60	0,95	0,90	0,60	0,76	0,19	24,75%
13	0,60	1,10	0,98	0,60	0,82	0,26	31,55%
14	0,65	1,20	0,98	0,65	0,87	0,27	30,97%
15	0,68	1,30	1,00	0,70	0,92	0,29	31,80%

IR30

## Após 30 choques

Minutos	Leituras (ml)				Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Pequeno Livre						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			
1	0,00	0,10	0,05	0,03	0,05	0,04	93,40%
2	0,10	0,2	0,10	0,10	0,13	0,05	40,00%
3	0,12	0,2	0,15	0,20	0,17	0,04	23,57%
4	0,20	0,28	0,20	0,29	0,24	0,05	20,31%
5	0,25	0,30	0,26	0,32	0,28	0,03	11,70%
6	0,30	0,32	0,30	0,40	0,33	0,05	14,43%
7	0,31	0,40	0,35	0,45	0,38	0,06	16,10%
8	0,38	0,40	0,40	0,50	0,42	0,05	12,90%
9	0,40	0,48	0,47	0,51	0,46	0,04	9,70%
10	0,42	0,50	0,49	0,60	0,50	0,07	14,75%
11	0,49	0,51	0,50	0,65	0,54	0,08	14,19%
12	0,50	0,51	0,50	0,70	0,55	0,10	17,82%
13	0,50	0,60	0,60	0,75	0,61	0,10	16,83%
14	0,51	0,65	0,60	0,78	0,63	0,11	18,08%
15	0,60	0,68	0,65	0,80	0,68	0,08	12,45%

Minutos	Leituras (ml)				Média	Desvio Padrão	Coef. De variação
	Pequeno Restringido						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			
1	0,12	0,12	0,30	0,10	0,16	0,09	58,63%
2	0,30	0,2	0,50	0,20	0,30	0,14	47,14%
3	0,40	0,40	0,55	0,30	0,41	0,10	24,99%
4	0,50	0,40	0,70	0,32	0,48	0,16	34,19%
5	0,60	0,40	0,75	0,40	0,54	0,17	31,66%
6	0,60	0,40	0,80	0,50	0,58	0,17	29,70%
7	0,69	0,49	0,81	0,55	0,64	0,14	22,62%
8	0,70	0,50	0,90	0,61	0,68	0,17	25,00%
9	0,78	0,51	0,90	0,70	0,72	0,16	22,67%
10	0,80	0,58	0,97	0,70	0,76	0,17	21,64%
11	0,83	0,60	1,00	0,80	0,81	0,16	20,31%
12	0,89	0,61	1,00	0,80	0,83	0,17	20,00%
13	0,90	0,62	1,10	0,82	0,86	0,20	23,10%
14	0,95	0,70	1,10	0,90	0,91	0,17	18,10%
15	1,00	0,70	1,10	0,92	0,93	0,17	18,29%



**ANEXO A – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO CIMENTO:  
CPIV**



## DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

### CILAS 1180 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 2500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : CPIV  
 Type produit : Resíduo  
 Client : UFRGS - LACER  
 Comentários : Após calibração  
 Líquido : Water (eau)  
 Agente dispersante :  
 Operador : Natália  
 Empresa :  
 Localização :  
 Data : 10/08/2016 Hora : 17:47:40  
 Índice med. : 4484

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 99  
 Diâmetro a 10% : 1.26 mu  
 Diâmetro a 50% : 9.89 mu  
 Diâmetro a 90% : 28.21 mu  
 Diâmetro médio : 12.75 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Sim / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/4  
 SOP : UFRGS L

Valores cumulativos particulares

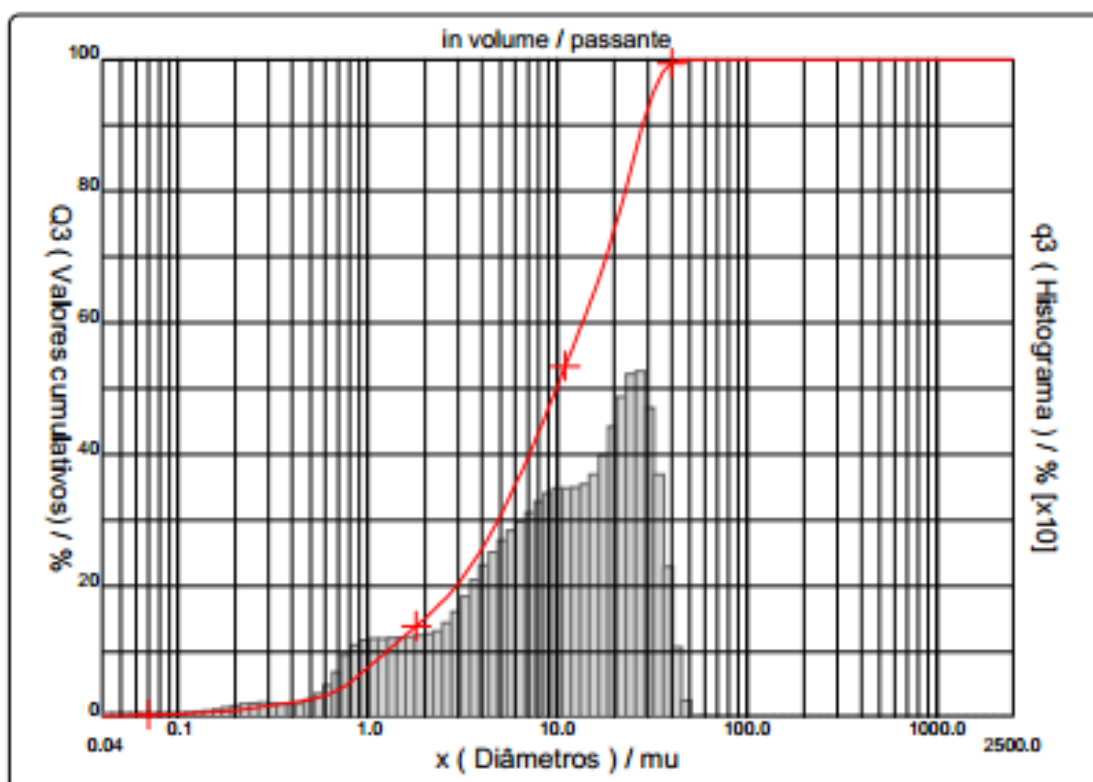
x	0.10	1.00	10.00	100.0	1000.0
Q3	0.49	7.54	50.36	100.00	100.00

in volume / passante

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	100.0
Q3	45.00





## DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

### CILAS 1180 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 2500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : CPlV  
 Type produit : Resíduo  
 Client : UFRGS - LACER  
 Comentários : Após calibração  
 Líquido : Water (eau)  
 Agente dispersante :  
 Operador : Natália  
 Empresa :  
 Localização :  
 Data : 10/08/2016 Hora : 17:47:40  
 Índice med. : 4484

Ultrasom : 00 s  
 Concentração : 99  
 Diâmetro a 10% : 1.26 mu  
 Diâmetro a 50% : 9.89 mu  
 Diâmetro a 90% : 28.21 mu  
 Diâmetro médio : 12.75 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Sim / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/4  
 SOP : UFRGS L

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.11	0.34	0.49	1.05	1.76	2.25	2.67	3.28	4.13	5.26
q3	0.04	0.04	0.04	0.08	0.17	0.17	0.18	0.33	0.54	0.82
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	6.43	7.54	8.55	9.48	10.33	11.13	12.58	13.88	15.06	16.15
q3	0.97	1.02	1.03	1.04	1.03	1.05	1.06	1.07	1.09	1.11
x	2.40	2.60	3.00	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
Q3	17.18	18.20	20.24	25.55	30.65	35.31	37.47	39.54	41.53	43.45
q3	1.15	1.24	1.39	1.79	2.22	2.48	2.62	2.71	2.80	2.89
x	8.50	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
Q3	45.29	47.06	50.36	53.34	56.07	58.59	60.97	63.24	65.45	67.63
q3	2.95	3.01	3.04	3.04	3.05	3.06	3.12	3.20	3.33	3.49
x	18.00	19.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	38.00	40.00
Q3	69.79	71.96	74.12	78.38	84.44	89.71	94.88	98.00	98.85	99.41
q3	3.67	3.90	4.09	4.34	4.61	4.52	3.76	2.57	1.53	1.06
x	45.00	50.00	53.00	56.00	63.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	95.00	100.0	106.0	112.0	125.0	130.0	140.0	145.0	150.0	160.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	242.0	250.0	300.0	400.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0	1500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1600.0	1700.0	1800.0	1900.0	2000.0	2100.0	2200.0	2300.0	2400.0	2500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

**ANEXO B – ÁREA SUPERFICIAL DOS AGLOMERANTES:  
CPIV E CAL HIDRÁULICA**

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction  
for NOVA Instruments  
©1994-2012, Quantachrome Instruments  
version 11.02



<b>Analysis</b>			<b>Report</b>		
Operator:	LACER	Date:2017/06/29	Operator:	LACER	Date:2017/06/28
Sample ID:	Cimento	Filename:	20170628_1.qps		
Sample Desc:		Comment:			
Sample weight:	0.3495 g	Sample Volume:	0.3495 cc	Sample Density:	1 g/cc
Outgas Time:	0.4 hrs	Outgas Temp:	300.0 C		
Analysis gas:	Nitrogen	Bath Temp:	273.0 K		
Pres. Tolerance:	0.1000.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil time out:	240/240 sec (ads/des)
Analysis Time:	17.5 min	End of run:	2017/06/29 20:28:44	Instrument:	Nova Station A
Cell ID:	7				

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

<b>Adsorbate</b>	Nitrogen	Temperature	77.350K	Liquid Density:	0.808 g/cc
Molec. Wt.:	28.013	Cross Section:	16.200 Å <sup>2</sup>		

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W(Po/P) - 1 ]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W(Po/P) - 1 ]
1.05597e-01	0.5864	1.6103e+02	3.03536e-01	1.1407	3.0570e+02
2.03473e-01	0.8609	2.3740e+02			

BET summary

Slope = 730.460  
Intercept = 8.557e+01  
Correlation coefficient, r = 0.999284  
C constant = 9.537  
Surface Area = 4.268 m<sup>2</sup>/g

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction  
for NOVA Instruments  
©1994-2012, Quantachrome Instruments  
version 11.02



<b>Analysis</b>			<b>Report</b>		
Operator:	LACER	Date: 2017/06/27	Operator:	LACER	Date: 2017/06/28
Sample ID:	Cal	Filename:	06062017_1.qps		
Sample Desc:		Comment:		Sample Density:	1 g/cc
Sample weight:	0.2973 g	Sample Volume:	0.2973 cc		
Outgas Time:	0.4 hrs	Outgas Temp:	300.0 C		
Analysis gas:	Nitrogen	Bath Temp:	273.0 K		
Press. Tolerance:	0.1000.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout:	240/240 sec (ads/des)
Analysis Time:	19.2 min	End of run:	2017/06/27 17:11:26	Instrument:	Nova Station A
Cell ID:	7				

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

<u>Adsorbate</u>	Nitrogen	Temperature	77.350K	Liquid Density:	0.808 g/cc
	Molec. WT.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å <sup>2</sup>		

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W(Po/P) - 1 ]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W(Po/P) - 1 ]
9.74210e-02	3.1129	2.7743e+01	2.98643e-01	4.5744	7.4478e+01
2.00714e-01	3.8892	5.1662e+01			

BET summary

Slope = 232.249  
Intercept = 5.094e+00  
Correlation coefficient, r = 0.999998  
C constant = 46.596  
Surface Area = 14.673 m<sup>2</sup>/g