

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIA DA CONCEIÇÃO TAVARES

**ANÁLISE CRÍTICA DO MÉTODO DE ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE
TÉRMICO, À LUZ DA NBR 15.575:2013, APLICADO EM SISTEMAS DE
ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA.**

BELO HORIZONTE

2019

MARIA DA CONCEIÇÃO TAVARES

**ANÁLISE CRÍTICA DO MÉTODO DE ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE
TÉRMICO, À LUZ DA NBR 15.575:2013, APLICADO EM SISTEMAS DE
ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA.**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil do
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. Rogério Cabral de Azevedo
Coorientador: Prof. Dr. Ronan Drummond de Figueiredo Rossi
Coorientadora: Profa. Dra. Cristina Guimarães César**

BELO HORIZONTE

2019

T231a Tavares, Maria da Conceição
Análise crítica do método de ensaio de ação de calor e choque térmico, à luz da NBR 15.575:2013, aplicado em sistemas de alvenaria de vedação com revestimentos em argamassa / Maria da Conceição Tavares. – 2019.
156 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil.

Orientador: Rogério Cabral de Azevedo.

Coorientador: Ronan Drummond de Figueiredo Rossi.

Coorientadora: Cristina Guimarães César.

Bibliografia: f. 150-156.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil.

1. Alvenaria – Normas – Teses. 2. Projeto estrutural – Teses. 3. Construção civil – Controle de qualidade – Teses. I. Azevedo, Rogério Cabral de. II. Rossi, Ronan Drummond de Figueiredo. III. César, Cristina Guimarães. IV. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. V. Título.

CDD 690.562

MARIA DA CONCEIÇÃO TAVARES

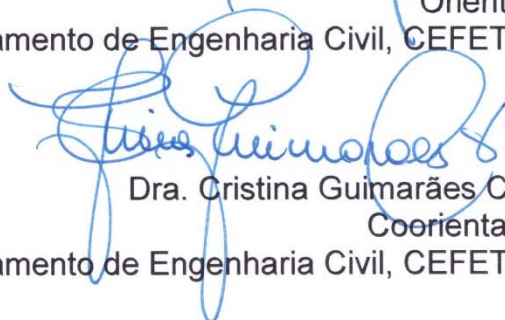
**ANÁLISE CRÍTICA DO MÉTODO DE ENSAIO DE AÇÃO DE
CALOR E CHOQUE TÉRMICO, À LUZ DA NBR 15.575:2013,
APLICADO EM SISTEMAS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO
COM REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.



Dr. Rogério Cabral de Azevedo
Orientador

Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG



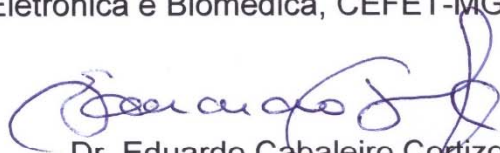
Dra. Cristina Guimarães César
Coorientadora

Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG

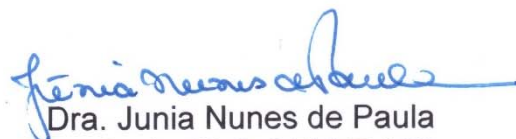


Dr. Ronan Drummond de Figueiredo Rossi
Coorientador

Departamento de Eletrônica e Biomédica, CEFET-MG



Dr. Eduardo Cabaleiro Cortizo
Escola de Arquitetura, UFMG



Dra. Junia Nunes de Paula
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG

Belo Horizonte, 15 de Abril de 2019

DEDICATÓRIA

*Dedico o esforço deste trabalho à minha mãe, minha estrela guia.
A meu esposo, Glatson, pelo apoio diário ao longo desta jornada.
E à minha filha, Sophia, por ser minha válvula de escape.*

AGRADECIMENTOS

Ao final desta etapa, agradeço a Deus por sempre ter colocado pessoas boas em meu caminho. Este projeto, com sua característica multidisciplinar, só se tornou viável com as contribuições de profissionais de diversas áreas, professores de várias disciplinas, amigos de longa data e aqueles se tornaram amigos durante esta jornada.

De forma especial agradeço ao meu orientador, professor Rogério Cabral, por me confiar o desafio deste tema complexo, por ter sido o meu guia, pelos seus ensinamentos e pela liberdade que me deu para andar sozinha. Pelos momentos de descontração e também de exaltação!

À professora Cristina Guimarães, agradeço pela coorientação na área de tecnologia das construções e pelas dicas para elaboração desta dissertação.

Ao professor Ronan Rossi, agradeço por sua coorientação, por sua disponibilidade e dedicação desde o início do projeto, na busca pelas melhores soluções para os equipamentos de controle utilizados nesta pesquisa. O seu apoio, juntamente com a equipe do Departamento de Eletrônica e Biomédica (Professor Valdir, Gregório, Mariana, entre outros), foi fundamental para o bom desempenho dos equipamentos.

Aos alunos de graduação, Paula Lage, Nelson Ribeiro e Gabriela Prates, por escolherem o meu projeto de pesquisa para desenvolverem os seus trabalhos de conclusão de curso. E principalmente pelo tempo dedicado e apoio durante a árdua fase de Estudo Piloto.

Agradeço à professora Júnia Nunes e ao professor Eduardo Cabaleiro, pelas valiosas contribuições no exame de qualificação, adotadas nesta dissertação.

Não poderia deixar de agradecer aqueles que forneceram materiais e serviços, para a montagem dos corpos de prova e equipamentos:

- Construtora Agmar, na pessoa do Engenheiro Marcelo, que gentilmente cedeu a mão de obra para construção das paredes;
- À Cerâmicas Braúnas, que doou os blocos cerâmicos utilizados na pesquisa;
- À Precon, pelo fornecimento das argamassas utilizadas no projeto, além da orientação técnica para sua execução e realização dos ensaios de aderência;
- À Holcim, pela doação do cimento e à Mineração Brasmic pela doação da areia, utilizados nos serviços de adequação do espaço (laboratório);

- À FCG Projeções, na pessoa do Engenheiro Gustavo que de forma prestativa, mobilizou sua equipe e equipamentos para execução da argamassa projetada;
- À Gygagelo, pela parceria firmada e por desviar várias vezes sua rota de entregas para fornecer a quantidade de gelo necessária para os ensaios;
- Ao Dimer, por disponibilizar seu tempo para pintar as paredes e montar o aspersor;
- À Eletrônica Chamoni, por doar os ventiladores utilizados no painel radiante.
- Ao Professor Nilton Maia, por disponibilizar o defletômetro durante todo o período da pesquisa;
- Ao meu amigo Agostinho, por emprestar a bomba de pressurização e vários outros equipamentos;
- Aos técnicos de laboratórios do Departamento de Engenharia Civil do CEFET/MG, pelo apoio na realização dos ensaios de caracterização;
- À equipe de manutenção do CEFET/MG, por atender várias demandas durante o projeto;
- E ao CEFET/MG pela bolsa concedida, que viabilizou financeiramente esta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma contribuíram com o êxito desta pesquisa, ao ouvir, discutir, sugerir soluções e questionamentos sobre o tema.

E à minha família peço perdão pelos 2 anos de “pouca presença” e agradeço pela compreensão.

EPÍGRAFE

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*
(Marthin Luther King)

RESUMO

A norma de desempenho NBR 15.575:2013 foi publicada para garantir que as edificações habitacionais brasileiras sejam entregues aos usuários com padrões mínimos de conforto e segurança. Esta norma estabelece os critérios mínimos para o desempenho das edificações residenciais que devem ser cumpridos por construtores, projetistas e fornecedores. Para avaliar o requisito “durabilidade dos sistemas de vedações verticais”, esta norma estabelece a realização de ensaio por meio de exposição à ação de calor e choque térmico. Após 5 anos da publicação da NBR 15.575:2013 várias pesquisas foram desenvolvidas sobre a aplicação deste ensaio. Estas pesquisas apontaram a existência de lacunas nas instruções e parâmetros para a realização deste ensaio como, por exemplo, a definição do tamanho dos corpos de prova e a quantidade de ciclos (aquecimento/resfriamento) necessários para o ensaio. Assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar o comportamento de corpos de prova com diferentes dimensões, quando submetidos ao ensaio prescrito. Para tanto, corpos de prova em alvenaria de bloco cerâmico, com revestimento em argamassa projetada e acabamento final com sistema de pintura acrílica, com dimensões distintas foram submetidos a 10 e 20 ciclos de aquecimento/resfriamento. Ao final dos experimentos, foi estatisticamente comprovado que há influência da altura dos corpos de prova sobre os resultados do ensaio (as médias dos valores dos deslocamentos obtidos, normalizados em função da altura do corpo de prova, não podem ser consideradas estatisticamente iguais) além de terem sido recolhidos indícios que o número de ciclos não possui influência no deslocamento e nos itens a serem avaliados por inspeção visual. Comprovou-se também que os valores de resistência de aderência à tração dos revestimentos não foram reduzidos após a submissão aos ciclos térmicos. A pesquisa apresenta resultados que evidenciam a necessidade de revisão dos parâmetros e critérios estabelecidos por esta norma.

Palavras-chave: Alvenaria de vedação; Choque térmico; Norma de desempenho; NBR 15.575:2013.

ABSTRACT

The NBR 15.575: 2013 performance standard was published to ensure that Brazilian housing developments are delivered to users with minimum standards of comfort and safety. This standard establishes the minimum criteria for the performance of residential buildings that must be met by builders, designers and suppliers. In order to assess the "durability of vertical fence systems" requirement, this standard establishes the performance of the test by exposure to heat and thermal shock. After 5 years of publication of the NBR 15.575:2013 several researches were developed on the application of this test. These surveys pointed to gaps in the instructions and parameters for the performance of this test, such as the size of test specimens and the number of cycles (heating / cooling) required for the test. Thus, the objective of this research is to analyze the behavior of specimens with different dimensions, when submitted to the prescribed test. In order to do so, ceramic tile masonry specimens, with projected mortar coating and final finishing with acrylic paint system, with different dimensions were submitted to 10 and 20 heating / cooling cycles. At the end of the experiments, it was statistically verified that there is influence of the height of the specimens on the results of the test (the mean values of the obtained displacements normalized as a function of the height of the specimen can not be considered statistically equal) evidence has been collected that the number of cycles has no influence on displacement and items to be evaluated by visual inspection. It has also been found that the tensile strength values of the coatings were not reduced after submission to the thermal cycles. The research presents results that demonstrate the need to review the parameters and criteria established by this standard.

Key- words: NBR 15.575:2013; Performance standard; Sealing masonry; Thermal shock.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - influência das ações de manutenção em uma edificação	17
Figura 2 - Relação entre custos de aquisição e custos de manutenção e reparo sobre o ponto de vista do custo do ciclo de vida	19
Figura 3 - Matriz da Norma de Desempenho	22
Figura 4 - Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos	24
Figura 5 - Camadas do revestimento em argamassa.....	31
Figura 6 - Transferência de calor unidimensional por condução	35
Figura 7 - Convecção de uma superfície para um fluido em movimento.....	36
Figura 8 - Sistema de transferência de calor por radiação	37
Figura 9 - Planejamento inicial da pesquisa.....	50
Figura 10 - Planejamento da preparação dos materiais e equipamentos.	51
Figura 11 - Lay out dos corpos de prova no laboratório	52
Figura 12 - Blocos cerâmicos	54
Figura 13 - Espessura total dos corpos de prova	57
Figura 14 - Croqui dos corpos de prova CP1 e CP2	60
Figura 15 - Croqui dos corpos de prova CP3, CP4 e CP5	61
Figura 16 - Vista interna do painel de comando e controle	63
Figura 17 - Vista externa do painel de comando e controle	64
Figura 18 - Painel de controle e computador	65
Figura 19 - Croqui do Painel Radiante	66
Figura 20 - Painel radiante com divisória entre zonas.....	67
Figura 21 - Painel radiante sem divisória entre zonas.....	67
Figura 22 - Ventiladores	68
Figura 23 - Rodízios do painel.....	68
Figura 24 - Termopares tipo J	68
Figura 25 - Suporte para fixação do transdutor	69
Figura 26 - Croqui do dispositivo de aspersão	70
Figura 27 - Dispositivo de aspersão montado	70
Figura 28 - Caixa d'água e bomba de pressurização.....	71
Figura 29 - Termohigrômetro.....	71
Figura 30 - Sequenciamento de execução dos ensaios.....	72
Figura 31 - Esquema de montagem e instrumentação do corpo de prova.....	73

Figura 32 - Delimitação do corpo de prova de revestimento pelo corte	75
Figura 33 - Sequenciamento das inspeções visuais	77
Figura 34 - Linha do tempo dos experimentos	79
Figura 35 - Montagem dos pórticos	80
Figura 36 - Alvenarias em execução	80
Figura 37 - Alvenarias executadas	81
Figura 38 - Execução do encunhamento.....	81
Figura 39- Execução da argamassa projetada.....	83
Figura 40 - Corpos de prova revestidos com argamassa	84
Figura 41 - Pintura dos corpos de prova	85
Figura 42 - Acabamento final dos corpos de prova CP3, CP4 e CP5 após pintura...	85
Figura 43 - Acabamento final dos corpos de prova CP1 e CP2 após pintura	86
Figura 44 - Fluxograma do ensaio de choque térmico	87
Figura 45 - CP01 com termopares, transdutor e painel radiante.....	89
Figura 46 - Tela de Diagnósticos do FieldLogger.....	89
Figura 47 - Equipamentos para aferição dos deslocamentos	90
Figura 48 - Termografia do CP1 Ciclo 9.....	90
Figura 49 - Dispositivo de aspersão	91
Figura 50 - Reservatório de água com adição de gelo.....	92
Figura 51 - Inspeções visuais.....	93
Figura 52 - Execução dos furos e remoção do acabamento	95
Figura 53 - Dispositivo de suporte das pastilhas	95
Figura 54 - Realização do ensaio de aderência e registro de rupturas	96
Figura 55 - Processo de secagem das amostras	96
Figura 56 - Corpo de prova CP04 após ensaio de aderência	97
Figura 57 - Diagnóstico da fase de aquecimento do 6º Ciclo do Corpo de prova CP02	100
Figura 58 - Indicação dos termopares e termografia do Corpo de prova CP02	100
Figura 59 - Termografia da face oposta do Corpo de prova CP02.....	101
Figura 60 - Diagnóstico do 10º Ciclo do Corpo de prova CP04.....	102
Figura 61 - Indicação dos termopares e termografia do Corpo de prova CP04	102
Figura 62 - Termografia da face oposta do Corpo de prova CP04.....	103
Figura 63 - Deslocamento horizontal.....	105
Figura 64 - Deslocamentos registrados no Corpo de Prova CP1.....	108

Figura 65 - Deslocamentos registrados no Corpo de Prova CP2.....	108
Figura 66 - Deslocamentos registrados no Corpo de Prova CP3.....	110
Figura 67 - Deslocamentos registrados no Corpo de Prova CP4.....	110
Figura 68 - Identificação das fissuras do CP1 aos 14 dias.....	113
Figura 69 - Identificação das fissuras do CP4 aos 14 dias.....	113
Figura 70 - Ampliação da fissura F2 do CP4 aos 14 dias	114
Figura 71 - Espessura da fissura F2 do CP4 aos 14 dias	114
Figura 72 - Identificação das fissuras do CP3 aos 14 dias.....	115
Figura 73 - Identificação das fissuras do CP2 aos 14 dias.....	116
Figura 74 - Fissura no revestimento em argamassa, sob a camada do sistema de pintura.	117
Figura 75 - Fissura da espessura total do revestimento.....	117
Figura 76 - Umidade no CP01 após 20 ciclos	118
Figura 77 - Comprimentos totais das fissuras em cada corpo de prova (cm)	130
Figura 78 - Comprimentos proporcionais (cm/m ²) das fissuras	130
Figura 79 - Valores médios de resistência de aderência à tração (MPa).	132
Figura 80 - Percentual de rupturas nos ensaios de aderência	133
Figura 81 - Temperaturas médias observadas em 2017	140
Figura 82 - Resfriamento durante o Ciclo 07 do corpo de prova CP02	143
Figura 83 - Início do resfriamento CP01 – Ciclo 09	144

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação	30
Quadro 2 - Traços indicativos de argamassas recomendados para execução de alvenarias de vedação	30
Quadro 3 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos	32
Quadro 4 - Especificações dos materiais de pintura	59
Quadro 5 - Dimensões dos corpos de prova	59
Quadro 6 - Principais componentes do painel de controle	63
Quadro 7 - Chaves de comando do painel radiante	65
Quadro 8 - Aparelhagem e materiais para o ensaio de aderência	75
Quadro 9 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada úmida	76
Quadro 10 - Variações das dimensões dos corpos de prova	98
Quadro 11 - Evolução das ocorrências na superfície dos corpos de prova CP1 e CP4.	112
Quadro 12 - Evolução das ocorrências na superfície dos corpos de prova CP2 e CP3.	115
Quadro 13 - Ocorrência de umidade no CP1	118
Quadro 14 - Análise de Variância Geral.....	122
Quadro 15 - Análise de Variância na fase de aquecimento	122
Quadro 16 - Análise de Variância na fase de resfriamento	123
Quadro 17 - Combinações para análise dos deslocamentos horizontais x altura do CP	125
Quadro 18 - Análise estatística dos deslocamentos horizontais x altura dos corpos de prova	126
Quadro 19 - Combinações para análise dos deslocamentos horizontais x número de ciclos	127
Quadro 20 - Análise estatística dos deslocamentos horizontais X número de ciclos	128
Quadro 21 - Simulações para estatística das fissuras	131
Quadro 22 - Simulações para o teste de hipóteses de resistência de aderência à tração	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vida útil de projetos (VUP)	16
Tabela 2 - Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação	29
Tabela 3 - Resistência à compressão dos blocos cerâmicos	54
Tabela 4 - Absorção de água dos blocos cerâmicos	55
Tabela 5 - Características da Argamassa Múltiplo Uso (Ensaio de fábrica)	56
Tabela 6 - Resistência à compressão da argamassa de assentamento	56
Tabela 7 - Características da Argamassa de Projeção (Ensaio de fábrica)	57
Tabela 8 - Resistência à compressão da argamassa de revestimento	58
Tabela 9 - Tempo médio para a superfície das paredes atingir 80°C.	99
Tabela 10 - Temperaturas na fase de aquecimento do 6º Ciclo do CP02	99
Tabela 11 - Temperaturas na fase de aquecimento do 10º Ciclo do CP04	101
Tabela 12 - Dados sobre o resfriamento – CP01	104
Tabela 13 - Dados sobre o resfriamento – CP02	104
Tabela 14 - Dados sobre o resfriamento – CP03	104
Tabela 15 - Dados sobre o resfriamento – CP04	105
Tabela 16 - Deslocamentos máximos registrados	106
Tabela 17 - Deslocamentos horizontais dos corpos de prova CP1 e CP2	107
Tabela 18 - Deslocamentos horizontais dos corpos de prova CP3 e CP4	109
Tabela 19 - Formas de rupturas e local do ensaio	119
Tabela 20 - Tensões obtidas no ensaio de resistência de aderência à tração	120
Tabela 21 - Coeficientes de absorção de água	120
Tabela 22 - Deslocamentos normalizados na fase de aquecimento (mm)	123
Tabela 23 - Deslocamentos normalizados na fase de resfriamento (mm).	124
Tabela 24 - Comprimentos proporcionais (cm/m ²) das fissuras	131
Tabela 25 - Análise estatística da quantidade de fissuras.	132
Tabela 26 - Valores das resistências de aderência à tração (MPa)	134
Tabela 27 - Análise estatística da resistência de aderência à tração	135
Tabela 28 - Proporção entre os maiores deslocamentos e o limite H/300	136
Tabela 29 - Valores máximos das temperaturas médias registradas nos últimos 10 anos.	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASBEA - Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
BNH - Banco Nacional de Habitação
CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CIB - *Council International for Buildings*
CP - Corpo de prova
ENIC - Encontro Nacional da Indústria da Construção
FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
HIS - Habitação de Interesse Social
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO - *International Organization for Standardization*
MPa - mega Pascal
OSB - *Oriented Strand Board*
PBQP-H - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PPGEC - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
Ra - Resistência de aderência à tração
Secovi-SP - Sindicato da Habitação de São Paulo
SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SiNAT - Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais
SindusCon-SP - Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SSR - Relés de estado sólido
SVVE - Sistemas de Vedação Vertical Externa
SVVIE - Sistemas de vedações verticais internas e externas
TC - Termopar Controle
TP - Termopar
VUP - Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PERGUNTA DE PESQUISA	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo geral.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	3
1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	5
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2. REVISÃO TEÓRICA	8
2.1 INOVAÇÃO.....	8
2.2 DESEMPENHO	10
2.3 DURABILIDADE	13
2.4 MANUTENIBILIDADE.....	14
2.5 VIDA ÚTIL	15
2.6 HISTÓRICO DA NBR 15.575:2013	19
2.7 A NORMA DE DESEMPENHO BRASILEIRA	22
2.7.1 Parte 1: Requisitos gerais	23
2.7.2 Parte 2: Sistemas estruturais.....	23
2.7.3 Parte 3: Sistemas de pisos	24
2.7.4 Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas	25
2.7.5 Parte 5: Sistemas de coberturas.....	26
2.7.6 Parte 6: Sistemas hidrossanitários.....	26
2.8 SISTEMAS DE VEDAÇÕES EXTERNOS	27
2.9 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA.....	30
2.10 SISTEMAS INOVADORES PARA VEDAÇÕES E REVESTIMENTOS	32
2.11 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	33
2.11.1 Condução.....	34
2.11.2 Convecção	35
2.11.3 Radiação.....	36
2.12 ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO	38
2.12.1 Estudos desenvolvidos com o ensaio de calor e choque térmico	38
2.12.2 Principais conclusões e recomendações dos pesquisadores	42
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1 MÉTODO DE ABORDAGEM.....	49
3.2 MÉTODO DE PROCEDIMENTOS	50
3.2.1 Espaço físico.....	51
3.2.2 Estudo inicial sobre o tema	53
3.2.3 Caracterização dos materiais.....	53
3.2.4 Construção dos corpos de prova	59
3.2.5 Montagem dos equipamentos elétricos e de controle.....	62
3.2.6 Deslocamento horizontal.....	69
3.2.7 Construção do sistema de resfriamento	69
3.2.8 Procedimentos dos ensaios	72
4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	79
4.1 CONSTRUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	79
4.1.1 Montagem dos pórticos.....	79
4.1.2 Execução das alvenarias	80

4.1.3	Execução do encunhamento.....	81
4.1.4	Execução do emboço	82
4.1.5	Execução da pintura	84
4.2	EXECUÇÃO DOS ENSAIOS	86
4.2.1	Aplicação dos ciclos térmicos	86
4.2.2	Inspeções visuais após os ciclos térmicos.....	92
4.2.3	Ensaio de resistência de aderência à tração.....	94
5.	RESULTADOS	98
5.1	CICLOS TÉRMICOS	98
5.2	DESLOCAMENTOS	105
5.3	INSPEÇÃO VISUAL	111
5.4	ADERÊNCIA.....	119
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	121
6.1	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES.....	121
6.2	DESLOCAMENTOS	124
6.3	NÚMERO DE CICLOS	126
6.4	INSPEÇÃO VISUAL	129
6.5	ADERÊNCIA.....	132
7.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	136
7.1	DESLOCAMENTOS	136
7.2	NÚMERO DE CICLOS	137
7.3	INSPEÇÃO VISUAL	137
7.4	ADERÊNCIA.....	139
7.5	CICLOS TÉRMICOS	140
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS ...	146
8.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	146
8.2	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	148
9.	REFERÊNCIAS	150
10.	APÊNDICES.....	157

1. INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil brasileira é um segmento econômico que se torna cada vez mais competitivo, exigindo dos profissionais desta área, a busca constante pela inovação em produtos, sistemas e processos construtivos, para continuarem atuantes no mercado. De outro lado, clientes e usuários das edificações, tornaram-se, também, mais exigentes e esclarecidos quanto ao desempenho esperado para as edificações.

No entanto, Bento *et al.* (2016) destacam que as edificações ou suas partes estão constantemente sujeitas a intempéries que acabam causando sua deterioração e redução do desempenho das mesmas. As variações de temperaturas, segundo Sentena, Kazmierczak e Krein (2018), são os principais fatores que afetam a durabilidade das fachadas e causam a deterioração dos revestimentos em função dos fenômenos climáticos.

A durabilidade das fachadas é tratada na quarta parte da norma de desempenho brasileira, ABNT NBR 15.575, denominada “Edificações habitacionais - Desempenho”. A parte 4 desta norma, NBR 15.575:4:2013 (ABNT, 2013d), estabelece os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) de edificações habitacionais ou de seus elementos. Nesta parte da norma são apresentados os parâmetros para avaliação da durabilidade das paredes externas, quando submetidas a variações de temperaturas, por meio de exposição à ação de calor e choque térmico.

Os parâmetros e critérios de desempenho prescritos nesta norma foram estabelecidos para proporcionar conforto aos usuários, independente da tecnologia adotada na construção. Conforme citado na Parte 1 da NBR 15.575-1:2013 (ABNT, 2013a), o seu foco está nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos.

Após cinco anos de aplicação da norma de desempenho, de acordo com CBIC (2018), foram identificadas necessidades de ajustes em alguns destes critérios, assim como revisões pontuais no texto da norma, para facilitar o entendimento para sua aplicação. Várias lacunas foram apontadas, por diversas pesquisas desenvolvidas com aplicação dos métodos prescritos por esta norma para realização de ensaios para verificação do atendimento aos requisitos mínimos de desempenho exigidos.

Para o ensaio de ação de calor e choque térmico, por exemplo, pesquisadores como Lorenzi (2013), Pacheco (2017), Oliveira, Fontenelle e Mitidieri Filho (2014), Fontenelle *et al.* (2017), Sentena, Kazmierczak e Krein (2018), entre outros, citaram vários pontos que abordam a necessidade de melhorias no método prescrito pela norma. Dentre estes pontos podem ser citados os aspectos relacionados aos parâmetros para a realização de inspeções visuais, as especificações para o painel radiante e à indefinição do corpo de prova quanto a sua altura e condições de confinamento, não se limitando a estes.

Assim, a fim de contribuir com os estudos já desenvolvidos, a presente pesquisa busca analisar o método de ensaio de ação de calor e choque térmico, recomendado pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), quando aplicado em SVVE's com as mesmas características construtivas, em alvenaria de blocos cerâmicos, com revestimento em argamassa projetada mecanicamente e acabamento final com sistema de pintura acrílica, porém em diferentes dimensões.

Tendo em vista que a norma não especifica as dimensões dos corpos de prova e que muitos autores questionam a quantidade de ciclos aplicados, esta pesquisa busca principalmente avaliar, com base estatística, se a altura dos corpos de prova e a quantidade de ciclos executados, influenciam nos critérios definidos pela norma.

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA

Tendo em vista a importância do ensaio de ação de calor e choque térmico recomendado pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d), para avaliar o desempenho das paredes externas de uma edificação, em relação ao requisito "Durabilidade", a principal questão desta pesquisa é:

O ensaio de ação de calor e choque térmico prescrito pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) apresenta os mesmos resultados quando aplicados em corpos de prova de diferentes dimensões?

1.2 OBJETIVOS

Para responder à pergunta de pesquisa que norteia este estudo, foram definidos os objetivos principal e específicos, apresentados nos itens seguintes.

1.2.1 Objetivo geral

A presente pesquisa tem como objetivo principal, analisar estatisticamente se a altura dos corpos de prova e o número de ciclos aplicados, influenciam nos critérios e parâmetros estabelecidos no método de ensaio de ação de calor e choque térmico, recomendado pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- I. Analisar estatisticamente a viabilidade de aplicação do parâmetro definido como valor limite para o deslocamento horizontal ($H/300$), em corpos de prova com alturas distintas;
- II. Identificar variações de respostas dos diferentes corpos de prova, quanto ao número de ciclos térmicos especificado pela norma;
- III. Verificar o efeito da ação do número de ciclos de calor e choque térmico sobre a resistência à aderência do revestimento em argamassa;
- IV. Analisar a eficácia do critério de avaliação quanto a inspeção visual das superfícies dos corpos de prova, recomendado pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), com base nos resultados alcançados com os experimentos;

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Com o aumento da demanda por construção de conjuntos habitacionais, principalmente de baixa renda, a industrialização dos processos construtivos tornou-se uma importante tendência, ainda em crescimento no Brasil. Junto com a industrialização da construção civil veio a necessidade da produção de novos produtos e sistemas construtivos, empregando vários tipos de matérias-primas e tecnologias.

Entre estes sistemas construtivos, podem ser citados os SVVEs, nos projetos de edificações habitacionais, que podem ser construídos com adoção de várias tecnologias construtivas, como painéis pré-fabricados e alvenarias. O mesmo ocorre com os materiais utilizados por estas tecnologias construtivas. No caso das alvenarias por exemplo, podem ser empregados blocos de concreto, cerâmicos ou outro material, com função estrutural ou não.

Além disso, as propriedades de cada material utilizado na execução das alvenarias, segundo Roque (2009), por estarem associadas às patologias derivadas de seu processo construtivo, de sua utilização e da qualidade destes materiais, influenciam no desempenho das paredes.

Assim, à medida que surgem novos produtos ou novas formas de aplicação dos produtos convencionais, torna-se essencial a realização de ensaios e testes que comprovem o seu desempenho, a fim de habilitar sua adoção no projeto e na construção de uma edificação, independente da finalidade de ocupação da mesma. No caso das edificações habitacionais, é a ABNT NBR 15.575 que prescreve os métodos para execução destes testes, além de estabelecer os parâmetros e critérios de avaliação de seu desempenho.

A avaliação da durabilidade das paredes externas das edificações habitacionais, é realizada por meio do método de ensaio de ação de calor e choque térmico, tanto para sistemas inovadores como tradicionais (ABNT, 2013d).

A relevância do ensaio de ação de calor e choque térmico é destacada por Brito *et al.* (2017) e Fontenelle *et al.* (2017), que afirmam que o mesmo contribui para a identificação de problemas que poderão ocorrer nas fachadas, uma vez que tais problemas normalmente surgem nas edificações em situação semelhante à dos ensaios.

Fontenelle *et al.* (2017) enfatiza também que este ensaio foi introduzido às avaliações técnicas no Brasil há praticamente 40 anos, quando o estado da arte dos sistemas de fachadas era bem diferente do atual, com mais restrições quanto ao controle e automação dos testes.

Ao longo destes anos, várias pesquisas foram desenvolvidas com utilização do ensaio de ação de calor e choque térmico. Estas pesquisas intensificaram após a publicação da norma de desempenho em 2013, com o intuito não somente de aplicação do ensaio prático para obtenção de resultados, mas também com o objetivo de analisar o método recomendado pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d).

Com base nestes experimentos, vários pesquisadores, como Geyer (1994), Lorenzi (2013), Pacheco (2017), Oliveira, Fontenelle e Mitidieri Filho (2014), Fontenelle *et al.* (2017), Sentena, Kazmierczak e Krein (2018), apresentaram, em seus estudos, propostas de melhorias e apontaram falhas ou lacunas no ensaio prescrito pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) para verificação do comportamento de SVVE submetidos à ação de calor e choque térmico.

A falta de parâmetros, por exemplo, para a inspeção visual dos corpos de prova, que determinem se um sistema de vedação vertical externo atende ou não ao requisito “durabilidade”, é um dos aspectos apontados por Lorenzi (2013), que necessitam de revisão na referida Norma.

Por este motivo, a fim de complementar a análise do comportamento das paredes externas, uma vez que não foram identificados os efeitos causados pelos ciclos térmicos, por meio da inspeção visual dos corpos de prova, Sentena, Kazmierczak e Krein (2018) em seus estudos, incluíram a verificação da resistência à tração dos revestimentos por meio do ensaio de aderência, conforme NBR 13.528:2010(ABNT, 2010).

Assim, sem deixar de levar em consideração as colocações, críticas e sugestões, de todos aqueles que tiveram a oportunidade de realizar os ensaios recomendados pela norma, seja em estudos experimentais, pesquisas exploratórias ou na aplicação prática nas construções, esta pesquisa contribuirá com a discussão sobre o tema.

A relevância desta pesquisa relaciona-se com a necessidade de aprimoramento do ensaio de ação de calor e choque térmico, fundamental para o aumento da assertividade na avaliação da durabilidade dos sistemas de vedações verticais externas, principalmente para metodologias ou produtos inovadores, que vem sendo inseridos com frequência no mercado da construção civil.

1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa se limita ao estudo dos parâmetros e critérios para determinação do atendimento ao requisito de desempenho “Durabilidade”, com base nos resultados obtidos com a realização do ensaio de ação de calor e choque térmico, conforme prescrito pelo Anexo E da Parte 4 da Norma de desempenho, a NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), considerando as seguintes restrições:

- O processo de resfriamento do corpo de prova será realizado com água gelada obtida por adição de gelo ao reservatório, sem controle da temperatura. Portanto, a temperatura da água de resfriamento será variável, por estar susceptível à temperatura ambiente no momento da realização dos experimentos.
- A norma de desempenho recomenda o aquecimento da superfície do corpo de prova por fonte de calor radiante. No entanto, dado o tipo de equipamento

utilizado para este processo, não é possível eliminar totalmente a influência da transferência de calor por convecção.

- O painel de aquecimento utilizado nos experimentos foi previamente construído com resistências elétricas convencionais.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em capítulos distintos: introdução; revisão teórica; materiais e métodos, descrição de um estudo piloto, desenvolvimento dos experimentos, resultados alcançados, análise dos resultados, discussão sobre os resultados, considerações finais e sugestões para continuidade da pesquisa e referências.

- O capítulo 1 apresenta a introdução contextualizando o tema da pesquisa. São apresentados também os objetivos - geral e específicos - que servirão como meta para a realização da pesquisa. Neste capítulo são definidas as limitações e restrições da pesquisa e também apresentada a justificativa e relevância do tema em estudo.
- O capítulo 2 apresenta a revisão teórica sobre o tema, com apresentação dos principais conceitos e informações para melhor compreensão dos sistemas e materiais utilizados na pesquisa. Este capítulo também apresenta o histórico sobre a aplicação do ensaio de ação de calor e choque térmico, destacando os principais trabalhos realizados até o momento, relacionados ao tema da pesquisa.
- O capítulo 3 descreve os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, assim como o método de abordagem para o enquadramento metodológico da mesma. Apresenta os métodos de procedimentos adotados, principalmente aqueles voltados à realização dos ensaios, especificação dos materiais e sistemas construtivos adotados, além da descrição clara dos equipamentos utilizados.
- O capítulo 4 explana o desenvolvimento do programa experimental da pesquisa.
- O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos com os experimentos.
- O capítulo 6 analisa os resultados alcançados.
- O capítulo 7 discute os resultados.

- O capítulo 8 apresenta as considerações finais e sugestões para a realização de novos estudos para aprofundamento da pesquisa.
- O capítulo 9 apresenta as referências bibliográficas que deram o embasamento teórico para a pesquisa.

2. REVISÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta os principais conceitos relacionados ao tema desta pesquisa, de forma a facilitar a compreensão de sua abordagem, quanto ao desempenho dos sistemas de vedações verticais externos. Para isso, torna-se necessário o entendimento dos conceitos citados na NBR 15.575, tais como: desempenho, inovação, durabilidade, manutenibilidade e vida útil.

Além disso, são apresentados conceitos sobre o sistema de vedação em estudo, que consiste em alvenaria de vedação revestida em argamassa projetada. São também abordados os conceitos sobre fenômenos de calor, que influenciam nos resultados do método de ensaio para realização dos experimentos.

Este capítulo também apresenta o histórico sobre a aplicação do ensaio de ação de calor e choque térmico, destacando os principais trabalhos realizados até o momento, relacionados ao tema da pesquisa.

2.1 INOVAÇÃO

Os produtos e sistemas construtivos empregados no passado, em obras de edificações residenciais, eram bem conhecidos em função da experiência dos profissionais ao utilizar uma variedade relativamente pequena de produtos e técnicas construtivas (MITIDIERI e HELENE, 1998).

No entanto, segundo Mitidieri e Helene (1998), com o advento da segunda guerra mundial, houve necessidade de se desenvolver novos materiais e sistemas construtivos, que possibilitassem a reconstrução dos países atingidos em curtos prazos. Estes autores também destacam que a industrialização da construção a partir de então, despertou o setor para a necessidade de avaliar o desempenho das inovações desenvolvidas.

Para atender o nível de desempenho esperado pelos usuários, as empresas procuram ter controle de qualidade rigoroso dos produtos e serviços gerados, o que facilita a introdução de inovações em seus processos construtivos (MELHADO, 2001).

De acordo com Barros (1996) uma tecnologia construtiva racionalizada incorporada em um processo executivo convencional, constituirá em inovação tecnológica quando aplicada ao processo de produção do edifício. O autor cita ainda que, as inovações tecnológicas dentro do processo de construção de uma edificação, resultam de pesquisas realizadas dentro das próprias empresas ou por terceiros.

Assim, o investimento em pesquisas para o desenvolvimento tecnológico no setor da construção civil, tem iniciativa tanto na academia quanto no mercado, visando à melhoria contínua na qualidade das edificações e seus sistemas, assim como dos processos executivos.

De acordo com Melhado (2001) a certificação da qualidade na construção civil, no Brasil, iniciou na década de 90, para alguns processos de fabricação de materiais e componentes de construção. No entanto, Mitidieri e Helene (1998) destacam que o estabelecimento de diretrizes para avaliação do desempenho de soluções inovadoras para habitações térreas unifamiliares, já era abordada pelo IPT no início dos anos 80.

Como mecanismo de melhoria contínua da qualidade dos produtos e processos inovadores na construção civil, Mitidieri e Helene (1998) destacam a importância da homologação, a fim de se tornarem competitivos em relação aos produtos importados, diante a globalização do mercado.

No Brasil, os produtos e tecnologias inovadores são homologados com base nos conceitos de desempenho, pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT), no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H).

O SiNAT baseia-se no conceito de desempenho para avaliar produtos e sistemas construtivos inovadores. Sendo considerados como inovadores, segundo Mitidieri (2011), aqueles produtos ou sistemas que ainda não possuem uma referência normativa, e não apenas o fato de serem lançamentos no mercado.

Esta homologação, de acordo com Mitidieri e Helene (1998), comprova a qualidade do produto e apresenta informações para os usuários quanto a forma correta de execução, além de informações sobre o seu desempenho, manutenção e limitações quanto a sua utilização.

Mitidieri (2011) ressalta a importância da interação do SiNAT com a norma de desempenho brasileira, a NBR 15.575, uma vez que suas diretrizes e avaliações técnicas seguem as exigências desta norma. A concorrência entre as empresas no mercado da construção, segundo este autor, favorece o processo de avaliação de novos materiais e sistemas construtivos, uma vez que as mesmas buscam atender as necessidades de seus clientes.

Existe ainda a questão legal, citada por Mitidieri e Helene (1998), relacionada à precaução dos envolvidos na cadeia da construção - fabricantes, projetistas e construtores - diante de sua responsabilidade pelo produto ou serviço, conforme

consta no Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990):

Da Responsabilidade pelo Fato do Produto e do Serviço: Art. 12. O fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro, e o importador respondem, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, construção, montagem, fórmulas, manipulação, apresentação ou acondicionamento de seus produtos, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua utilização e riscos. (BRASIL, 1990, Art.12).

Embora esta responsabilidade seja mais abrangente, ao considerar tecnologias inovadoras ou não, segundo Cesar (2007), qualquer produto, sistema construtivo ou técnica executiva, principalmente quando inovadores, devem ter a validação de seu desempenho, antes de sua aplicação. O autor ressalta ainda que as inovações tecnológicas devem ser testadas, por meio de métodos que permitam a sua avaliação para garantir que o desempenho da edificação seja satisfatório quanto à segurança e durabilidade, tanto da construção quanto de suas partes.

2.2 DESEMPENHO

A palavra desempenho é definida por diversos autores, de um modo geral, como o comportamento de algo em utilização (ABNT, 2013a; PEREIRA, 2001; POSSAN E DEMOLINER, 2013).

O conceito de desempenho em um edifício, segundo Sabbatini (1989), deve ser aplicado de forma sistêmica em todas as partes da edificação, considerando seus elementos e sistemas.

Possan e Demoliner (2013) complementam que o desempenho para as habitações está relacionado às necessidades de seus usuários ao utilizarem esta edificação por um tempo determinado.

A abordagem de desempenho, segundo Possan e Demoliner (2013), deve ser considerada no desenvolvimento dos projetos para melhorar o nível de qualidade das obras. Além disso, os autores destacam a importância de construtores e proprietários buscarem o melhor custo benefício e não apenas o menor custo de execução das obras.

Oliveira e Mitidieri Filho (2012) também destacam a tendência de concepção das edificações com foco em desempenho, desde a definição das exigências do programa de necessidades para a elaboração do projeto. Estes autores também citam que em

alguns países, como França, Canadá e Japão, as tecnologias construtivas a serem adotadas em um projeto são definidas somente após a especificação do desempenho para o edifício ou produto em questão.

As especificações de desempenho de acordo com a NBR 15.575-1:2013 (ABNT, 2013a), são conjuntos de requisitos e critérios de desempenho estabelecidos para a edificação ou seus sistemas, que expressem as funções exigidas para os mesmos para um uso claramente definido.

Segundo Oliveira e Mitidieri Filho (2012), para os projetos serem desenvolvidos baseados no conceito de desempenho, devem ser considerados aspectos de durabilidade e sustentabilidade, como por exemplo, as especificações necessárias ao processo de construção e desconstrução da edificação. Além disso, os autores destacam a importância da participação dos projetistas, ao incorporarem estas práticas em seus processos de projeto.

O desempenho de uma edificação, segundo Possan e Demoliner (2013) e Pereira (2001), depende das condições ambientais às quais a mesma está exposta, como temperatura e umidade, entre outras. Além disso, Possan e Demoliner (2013) ressaltam que a percepção sobre o desempenho da edificação, pode variar entre usuários, pois depende da visão de cada um.

Apesar destas variações, segundo Pereira (2001), a avaliação do desempenho potencial da edificação, ou de suas partes, pode ser feita por meio de ensaios, assim como por modelos matemáticos de simulação do comportamento do edifício. Não se trata da avaliação de como a edificação deve ser construída, mas sim da finalidade a que se destina.

Assim, esta avaliação de desempenho de acordo com a NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013a) busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada.

Quando da avaliação de desempenho, deve estar definido o uso a que se destina o edifício, pois dele decorrem as exigências do usuário e, conseqüentemente, os requisitos e critérios de desempenho (MITIDIÉRI e HELENE, 1998). Para esta avaliação Pereira (2001), ainda ressalta que devem ser utilizados métodos científicos rigorosos.

Estes requisitos de desempenho são definidos como condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário (ABNT, 2013a).

As exigências do usuário segundo a norma de desempenho, são definidas como o conjunto de necessidades do usuário da edificação habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas), de modo a cumprir com suas funções (ANBT, 2013a).

Considerando as exigências dos usuários, a avaliação do desempenho de uma edificação ou de seus componentes e elementos, segundo Mitidieri e Helene (1998), deve: (i) identificar as necessidades do usuário; (ii) identificar as condições de exposição; (iii) definir os requisitos e critérios, expressos de forma qualitativa e quantitativa e (iv) definir a metodologia de avaliação. A definição do momento de avaliação e sua periodicidade, também devem ser incluídas nesta análise.

Em relação aos requisitos e critérios de desempenho, Sabbatini (1989) destaca sua natureza não-prescritiva, ou seja, não induz uma solução tecnológica particular e pré-concebida. Desta forma, para um dado problema, podem ser adotadas várias soluções técnicas, o que encoraja e estimula o desenvolvimento de inovações tecnológicas.

Além disso, Sabbatini (1989) ressalta que a análise de desempenho, por utilizar critérios objetivos, facilita a comparação e a definição da melhor solução para o projeto.

Para as vedações verticais, que é objeto do tema principal desta pesquisa, Oliveira e Mitidieri Filho (2012) apontam os principais requisitos de desempenho a serem considerados no projeto:

- (i) Definir as questões quanto à durabilidade, vida útil de projeto e manutenibilidade, antes do início da execução das obras.
- (ii) Sugerir os períodos de inspeção e manutenção preventiva no manual do usuário, para cada material ou componente, além de informar condições de uso especiais, tais como: fixação de peças suspensas nas paredes, localização das instalações (elétricas e hidráulicas), formas de realizar inspeções e manutenções, eventuais restrições de uso, cuidados necessários com ação de água nas bases de fachadas e de paredes internas de áreas molháveis, entre outras informações pertinentes ao uso da tecnologia.

É importante também, que o usuário ao receber o imóvel, confira se está recebendo como foi realmente previsto.

2.3 DURABILIDADE

A norma ISO 13823:2008 (ISO, 2008) define durabilidade como a capacidade da edificação ou sistema atender ao nível de desempenho especificado em projeto em um período de tempo determinado, quando expostos às condições ambientais, considerando as ações de manutenção.

De forma análoga, a norma de desempenho brasileira, define durabilidade como a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas (ABNT, 2013a).

A capacidade de um produto, em condições normais de utilização, resistir aos efeitos de degradação e ainda conservar suas propriedades, é incorporada ao conceito de durabilidade por Pereira (2001).

No entanto, embora as características dos materiais sejam alteradas ao longo de sua utilização, para Possan e Demoliner (2013), a durabilidade está relacionada com o desempenho dos materiais e não com suas propriedades. A utilização conjunta de materiais com propriedades incompatíveis, segundo Pereira (2001), pode ser evitada quando os requisitos e critérios de desempenho para a edificação são definidos e estabelecidos os limites de degradação de seus componentes.

O nível de degradação de materiais e componentes, quando submetidos a ensaios de aceleração de envelhecimento, de acordo com Mitidieri e Helene (1998), também pode ser limitado pelos requisitos e critérios de desempenho. Estes ensaios permitem a simulação dos efeitos das condições naturais de exposição da edificação e também das suas condições de utilização e manutenção.

A necessidade de manutenção da edificação ou reposição de seus componentes, segundo Mitidieri e Helene (1998), é determinada pelos critérios de desempenho relativos à durabilidade. Embora não defina a vida útil da edificação, estes critérios indicam o comportamento do edifício e suas partes ao longo do tempo.

Outro aspecto do desempenho de edifícios quanto à durabilidade, segundo Araujo, Paes e Verissimo (2013), está relacionado à característica dos projetos ao especificar sistemas, considerando suas condições ambientais de exposição.

Para o sistema de vedação vertical, por exemplo, manter a sua integridade e não comprometer o desempenho da edificação, de acordo com Pereira (2001), deve ter estabilidade suficiente para resistir sua movimentação em função de deformações, ações do vento e variações térmicas e de umidade.

O requisito de durabilidade para os sistemas de vedações verticais, conforme exemplificado por Pereira (2001), está relacionado ao seu aspecto, pois as patologias são de fácil visualização. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional (ABNT, 2013a).

2.4 MANUTENIBILIDADE

Um dos principais fatores que influenciam a durabilidade de um produto, sistema construtivo ou da própria edificação, está relacionado às suas condições de uso, operação e manutenção. A NBR 14.037:2014 (ABNT, 2014) destaca que a sociedade civil está cada vez mais contribuindo com as atividades para preservação da funcionalidade e durabilidade das edificações.

Segundo a norma ISO 13823:2008 (ISO, 2008) o termo manutenção refere-se à combinação de todas as ações administrativas e técnicas, durante a vida útil de um componente, a fim de mantê-lo em condições para desempenhar suas funções.

A norma de desempenho brasileira define manutenção como um conjunto de ações necessárias para conservar ou recuperar a funcionalidade das edificações, de modo a atender os requisitos dos usuários (ABNT, 2013a).

Para isso, a norma de desempenho NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013a) enfatiza a necessidade de atendimento aos requisitos de manutenibilidade e a classifica como o grau de facilidade para manter ou substituir os componentes da edificação de forma a mantê-la em condições de utilização.

Assim, os requisitos de manutenibilidade do edifício e de seus sistemas, segundo a NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013a), devem possibilitar as inspeções e intervenções, previstas no manual de operação, uso e manutenção (ABNT, 2013a).

Para isso a norma de desempenho recomenda que sejam previstas nos projetos, condições para facilitar as inspeções, por exemplo, com a instalação de suportes para

fixação de andaimes e balancins ou outro meio que possibilite a realização da manutenção (ABNT, 2013a).

Além disso, para realizar a manutenção adequada, o responsável pela construção da edificação deve fornecer ao usuário, o manual de operação, uso e manutenção atendendo a NBR 14037 (ABNT, 2014). Neste manual devem ser contempladas as informações necessárias, para orientação das atividades de conservação, uso e manutenção da edificação, além de orientações para operação dos equipamentos (ABNT, 2013a).

Na gestão de manutenção, além de seguir as orientações deste manual, deve-se atender a NBR 5674:2012 (ABNT, 2012), de modo a conservar as características originais da edificação, e evitar que o seu desempenho seja comprometido em função de degradações (ABNT, 2013a).

O programa de manutenção nas edificações, de acordo com a NBR 5674:2012 (ABNT, 2012), é importante para os usuários, ao garantir sua segurança e qualidade de vida, além de ser fundamental para a manutenção do desempenho da edificação durante sua vida útil projetada. (ABNT, 2012).

No entanto, Zanotto *et al.* (2015) destaca que o requisito de manutenibilidade proposto pela norma de desempenho brasileira, limita-se a facilitar o acesso e ao fornecimento de informações aos usuários, no entanto a qualidade desta informação não é avaliada. Segundo estes autores, os responsáveis pela execução das obras, elaboram o manual com foco em sua proteção quanto às garantias e responsabilidades, e os usuários acabam não consultando com frequência o documento.

2.5 VIDA ÚTIL

A vida útil de um produto, sistema ou até mesmo de uma edificação, está condicionada a fatores relacionados aos aspectos de desempenho e durabilidade, assim como de suas condições de utilização e de manutenção. Para Possan e Demoliner (2013), a vida útil de uma edificação ou suas partes, consiste em sua duração, considerando os limites admissíveis de projeto, durante seu ciclo de vida. Para estes autores, a vida útil finaliza quando a edificação ou suas partes, deixam de desempenhar as funções exigidas pelos usuários.

A norma ISO 13823 (ISO, 2008) define vida útil como o período de tempo em que uma estrutura ou seus componentes atendem aos requisitos de desempenho do projeto, sem necessidade de reparos significativos.

A NBR 15.575 salienta que a vida útil não pode ser confundida com prazo de garantia legal e certificada, definindo vida útil como:

A vida útil de projeto é o período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o cumprimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção (a VUP não deve ser confundida com tempo de vida útil, durabilidade, prazo de garantia legal e certificada). (ABNT, 2013a, pág.10).

Para Gomes, Cortizo e Mattos (2012), a vida útil trata-se do tempo de durabilidade de um produto, enquanto a vida útil de projeto consiste em uma previsão de quanto tempo deve durar este produto, considerando o desejo dos usuários. Os autores ressaltam que a vida útil de uma edificação é uma questão social e econômica, e não somente técnica, ambiental e jurídica.

No entanto, a NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013a) salienta que o valor da vida útil projetada pode ser reduzido, no caso de “negligências no cumprimento integral dos programas definidos no manual de operação, uso e manutenção da edificação, bem como ações anormais do meio ambiente”.

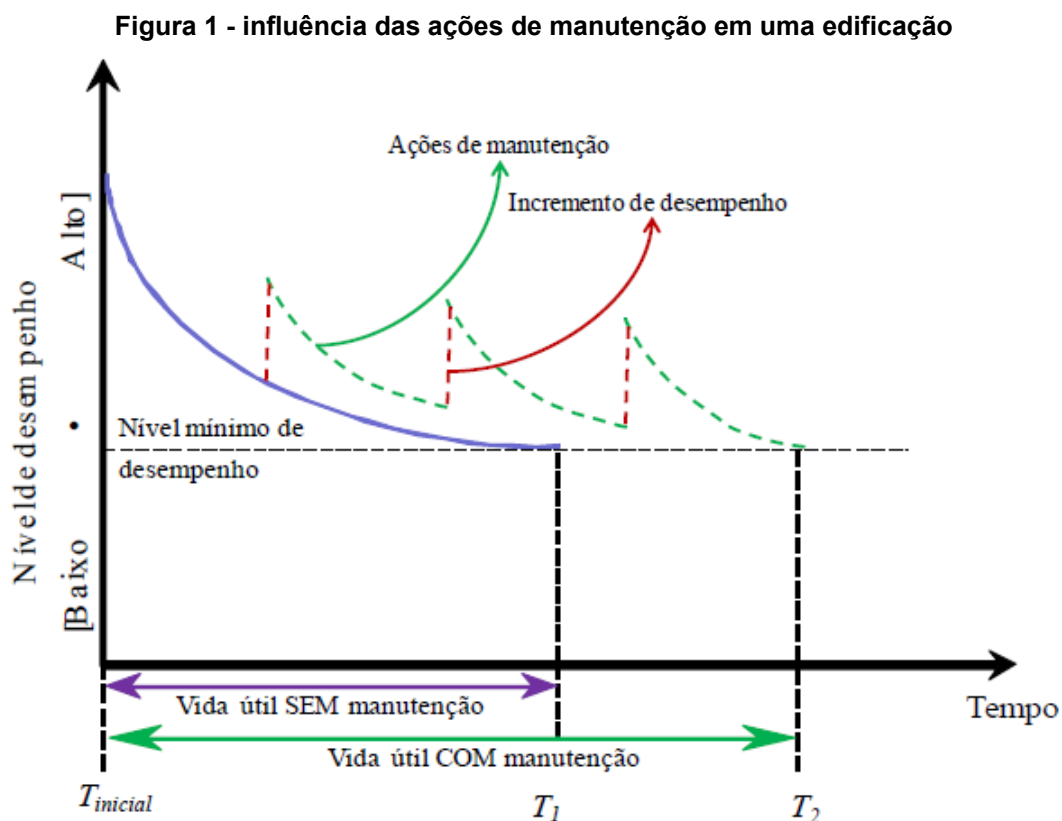
A vida útil de uma edificação depende da vida útil de seus componentes, portanto, é necessário que suas propriedades superem os limites mínimos admissíveis nas condições de serviço durante um período de tempo, conforme afirma Pereira (2001). Para isso a NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013) determina os valores teóricos mínimos, apresentados na Tabela 1, que devem ser adotados nos projetos, para que os sistemas tenham durabilidade compatível com a sua vida útil projetada.

Tabela 1 - Vida útil de projetos (VUP)

Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥ 50
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013a)

Para que a vida útil prevista para o projeto seja mantida ou até mesmo estendida, segundo Possan e Demoliner (2013), são necessárias ações de manutenção em uma edificação. Na Figura 1 pode-se observar a influência destas ações sobre a vida útil e o nível de desempenho de um empreendimento.



Fonte: Possan e Demoliner (2013).

O planejamento da vida útil de edificações, segundo Gomes, Cortizo e Mattos (2012), apesar de ainda pouco conhecido no Brasil, é utilizado em alguns países como estratégia para aumentar o desempenho das edificações.

A ISO 15686:2011 (ISO, 2011) apesar de não descrever técnicas para a previsão da vida útil de componentes de construção em detalhes, estabelece procedimentos que facilitam a sua previsão. Esta norma determina princípios e requisitos para o desenvolvimento dos estudos e apresenta uma metodologia baseada em um valor de vida útil de referência, combinado com fatores específicos de cada produto ou sistema. Entre estes fatores estão: i) qualidade do material ou componente; ii) nível de qualidade do projeto; iii) nível de qualidade da execução; iv) características do ambiente interior; v) características do ambiente exterior; vi) características do uso; e vii) nível de manutenção. Segundo Santos (2010) o conjunto de condições nas quais

são baseadas as previsões de vida útil de um determinado produto de construção normalmente não serão idênticas às condições de serviço do mesmo.

No Brasil, de acordo com a NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013a) os responsáveis pela avaliação da vida útil de projeto, são os projetistas, construtores e incorporadores, sendo que os valores da VUP devem atender às recomendações de normas nacionais ou internacionais. No entanto, esta mesma norma, não responsabiliza estes avaliadores pelo valor de vida útil atingido, uma vez que os mesmos não possuem controle sobre as condições relacionadas, por exemplo, à manutenção e ao uso da edificação.

Os aspectos de durabilidade e manutenibilidade, de acordo com Oliveira e Mitidieri Filho (2012), permitem analisar o custo da edificação durante sua vida útil. A norma de desempenho reconhece que “a durabilidade do edifício e de seus sistemas é uma exigência econômica do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel” (ABNT, 2013a).

A análise do custo da edificação ao longo de sua vida útil, de acordo com Possan e Demoliner (2013), possibilita identificar soluções para o projeto, de forma a otimizar os custos de operação, manutenção, reparo e até mesmo a reabilitação, ao longo de sua vida útil.

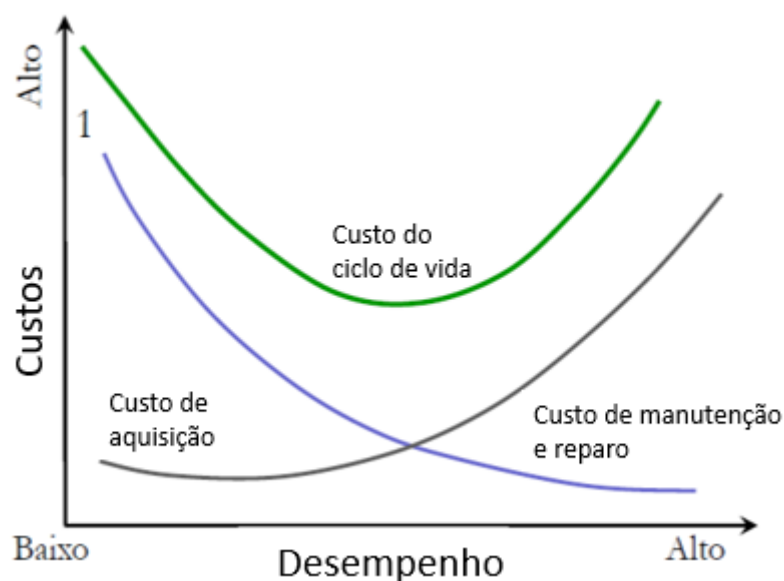
O custo total do empreendimento, além das despesas relacionadas a terrenos, segundo Oliveira e Mitidieri Filho (2012), compreende os custos de projeto, fabricação, execução, operação e manutenção, assim como os custos de sua desconstrução.

Desta forma, a análise do Custo do Ciclo de Vida da edificação, de acordo com Possan e Demoliner (2013), por sua característica multidisciplinar, exige amplos conhecimentos, por exemplo, sobre a engenharia de materiais e econômica.

Além do fator econômico, o planejamento da vida útil das edificações, segundo Gomes, Cortizo e Mattos (2012), torna-se importante ao tentar contribuir com o desenvolvimento sustentável e o uso de recursos mais eficientes no setor da construção civil. Segundo os autores, quanto maior a durabilidade de uma edificação, menor será o seu impacto ambiental, além de gastar menos com intervenções.

Na Figura 2 pode-se observar a relação entre os custos de aquisição e os custos de manutenção e reparo, sobre o ponto de vista do custo do ciclo de vida.

Figura 2 - Relação entre custos de aquisição e custos de manutenção e reparo sobre o ponto de vista do custo do ciclo de vida



Fonte: Possan e Demoliner (2013).

Diante do exposto neste capítulo, percebe-se a importância que a norma de desempenho tem sobre o desenvolvimento de um empreendimento. Os requisitos de desempenho, apesar do foco nas necessidades do usuário, conduzem à melhoria da eficiência no setor da construção civil, principalmente nas obras de edificações residenciais.

2.6 HISTÓRICO DA NBR 15.575:2013

Um significativo avanço relacionado ao desempenho das edificações, ocorreu após 1945, com o término da Segunda Guerra Mundial. De acordo com Varisco (2014), novas tecnologias construtivas foram desenvolvidas nesta época, em função da necessidade de se reconstruir moradias em prazos considerados ousados.

Em 1953, com apoio das Nações Unidas, foi fundado o *Council International for Buildings* (CIB). O CIB consiste em uma rede internacional composta por especialistas em construção, que buscam aprimorar o desempenho do setor por meio da cooperação internacional e da troca de informações entre os membros (CIB, 2018).

Na década de 70, segundo Borges (2008) a economia brasileira teve crescimento significativo, com grandes investimentos na Construção Civil, o que favoreceu a racionalização e a industrialização do setor, quando surgiram novos sistemas

construtivos. Estas inovações, segundo Borges (2008), fizeram com que o setor da construção civil percebesse a importância de se criar instrumentos para a avaliação técnica baseada em sua vida útil. Lorenzi (2013), destaca que em função do grande volume de obras nesta época, eram priorizadas as questões de produtividade e a introdução de inovações aos sistemas construtivos.

Segundo Brito, Fabrício e Vittorino (2017), desde o final da década de 80, o desempenho de materiais, componentes e sistemas construtivos vem sendo abordado por diversos grupos de pesquisadores. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), por exemplo, realizou na década de 90 estudos que resultaram na publicação do manual “Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social”.

Segundo (IPT, 1998), o objetivo da divulgação deste manual visava obter subsídios das entidades do setor para a produção de normas permanentes, que definissem as bases do padrão mínimo de qualidade de uma habitação. De acordo com Brito, Fabrício e Vittorino (2017) este manual, serviu de referência para a elaboração da norma de desempenho brasileira publicada em 2013 pela ABNT.

De acordo com Roque (2009), ao estudar padrões técnicos para tecnologias que ainda não dispunham de normas publicadas pela ABNT, percebeu-se que o assunto desempenho não dependia do tipo de construção, nem tão pouco de ser convencional ou inovador. Este autor cita como relevante a criação do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), na década de 90, com o principal objetivo de elaborar as regras de desempenho a serem atendidas pelos produtos da construção.

No ano de 2000, segundo Borges e Sabbatini (2008), a Caixa Econômica Federal por meio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), financiou a criação de um sistema que avaliasse tecnologias inovadoras com base no conceito de desempenho, que resultou na publicação, em 2008, da NBR 15.575.

A primeira versão da NBR 15.575 publicada em 2008, era restrita às edificações residenciais de até 5 pavimentos, no entanto, segundo Roque (2009), no decorrer dos trabalhos os estudiosos perceberam poucas diferenças em relação ao número de pavimentos.

A NBR 15.575 foi publicada em 2008, porém, com prazo de carência de dois anos para entrar em vigor, a mesma seria oficializada em 2010. Neste período, segundo Borges e Sabbatini (2008), mais de 100 agentes do setor do aço, cimento, peritos,

incorporadores e construtores, contribuíram com o texto-base da Norma. No entanto, segundo Kern, Silva e Kazmierczak (2014), o prazo para esta norma entrar em vigor, diante de vários questionamentos neste período, foi prorrogado para março de 2012, e posteriormente adiado para julho de 2013.

Segundo a ASBEA (2015), esta norma tem contribuído para mudar a forma de elaboração dos projetos na construção civil brasileira, exigindo dos profissionais tanto de engenharia quanto de arquitetura, o conhecimento sobre os sistemas construtivos e seus elementos, em relação a seu comportamento.

Por sua ampla abordagem a diversos temas e disciplinas, ASBEA (2015) ressalta que a norma de desempenho brasileira foi elaborada com base em várias outras normas nacionais e internacionais, relacionadas aos diversos assuntos tratados. Por este motivo, ASBEA (2015) salienta que para sua aplicação correta são necessários estudos e análises intensos.

Esta norma, segundo Kern, Silva e Kazmierczak (2014), pela complexidade do conceito de desempenho, trouxe desafios para todos os envolvidos no setor. Após cinco anos em aplicação, várias lacunas foram apontadas por diversas pesquisas desenvolvidas com aplicação das metodologias recomendadas por esta norma, para realização de ensaios para verificação do atendimento aos requisitos mínimos de desempenho exigidos.

Assim, à medida que os ensaios são executados e experimentados em diversas pesquisas acadêmicas ou para atender o mercado, surge a necessidade de revisão da norma de desempenho. Segundo CBIC (2018), a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) junto ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), ao Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SindusCon-SP) e ao Sindicato da Habitação de São Paulo (Secovi-SP), formaram em fevereiro de 2018, um grupo de estudos técnicos para subsidiar a revisão da Norma de Desempenho publicada em 2013.

A aplicação prática durante este período, segundo o CBIC (2018) tornou possível a identificação de pontos de melhoria nos textos da norma para facilitar o seu entendimento, assim como ajustes pontuais em alguns requisitos e critérios.

Apesar de não citar revisão específica nos parâmetros e critérios de avaliação do requisito durabilidade dos sistemas de vedações verticais externos, é possível que este assunto seja inserido também nas discussões, conforme citado a seguir:

Empresas de projeto, construtoras e especialistas já possuem consenso quanto a algumas questões, com propostas bem objetivas nas mudanças necessárias. Os itens são referentes ao desempenho acústico (como a precisão de caracterização das classes de ruído de entorno), ao desempenho térmico (como condições mais precisas para empreendimentos com grandes áreas envidraçadas nas fachadas), à segurança contra incêndio (como a necessidade de harmonização com outras normas) e a ajustes pontuais (como a retirada ou substituição de normas canceladas e a compatibilização de definições). (CBIC, 2018).

2.7 A NORMA DE DESEMPENHO BRASILEIRA

A versão atual da norma de desempenho brasileira é a NBR 15.575:2013 denominada “Edificações habitacionais - Desempenho”. Esta norma foca “nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos” (ABNT, 2013a).

Esta norma contempla a maioria dos sistemas de uma edificação e está organizada em seis partes: (i) Requisitos Gerais, (ii) Requisitos para os sistemas estruturais, (iii) Requisitos para os sistemas de pisos, (iv) Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, (v) Requisitos para os sistemas de coberturas e (vi) Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Assim, as exigências dos usuários são tratadas para cada sistema da edificação, em cada parte da NBR 15.575:2013, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Matriz da Norma de Desempenho

		Requisitos dos Usuários													
		Segurança Estrutural	Segurança contra Incêndio	Segurança no Uso e Operação	Desempenho Acústico	Desempenho Térmico	Desempenho Luminico	Estanteidade	Saúde, Higiene e Qualidade do Ar	Acessibilidade	Conforto Antropodinâmico e Tátil	Durabilidade	Manutenibilidade	Impacto Ambiental	
Partes da Norma	Parte 1: Requisitos gerais														
	Parte 2: Sistemas estruturais														
	Parte 3: Sistemas de pisos														
	Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas														
	Parte 5: Sistemas de coberturas														
	Parte 6: Sistemas hidrossanitários														

Fonte: ASBEA (2015)

2.7.1 Parte 1: Requisitos gerais

Nesta primeira parte da norma de desempenho, são estabelecidos “os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos” (ABNT, 2013a).

Os requisitos e critérios estabelecidos pela NBR 15.575-1:2013 (ABNT, 2013a), são baseados nas exigências dos usuários. Esta norma considera que, se os requisitos e critérios estabelecidos forem atendidos, as exigências do usuário também estarão satisfeitas.

Esta parte da norma apresenta também as exigências dos usuários em relação à segurança, habitabilidade, sustentabilidade e ao nível de desempenho. Além disso, são apresentadas também as incumbências técnicas de cada um dos intervenientes: fornecedores de insumo, material, componente e/ou sistema; projetistas; construtores/incorporadores e usuários.

2.7.2 Parte 2: Sistemas estruturais

A parte 2 da ABNT NBR 15.575 “estabelece os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam ao sistema estrutural da edificação habitacional” (ABNT, 2013b).

Nesta parte da norma são definidos os requisitos gerais para a edificação, que devem ser atendidos para manter a integridade e segurança da sua estrutura, quando expostas a diversas condições, como ação de seu peso próprio, sobrecargas de utilização, atuações do vento e outros.

Os requisitos são definidos com finalidade de evitar deformações, falhas, e para que sejam mantidas a estabilidade e a resistência tanto da estrutura quanto dos demais elementos com função estrutural. Para isso são realizados ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro.

Além dos requisitos gerais determinados na Parte 1 da NBR 15.575:2013, nesta segunda parte são apresentados também os requisitos em relação à durabilidade e manutenibilidade do sistema estrutural, sendo recomendado a previsão de manutenções, conforme citado na própria norma:

A fim de que seja alcançada a Vida Útil de Projeto (VUP) para a estrutura e seus elementos, conforme ABNT NBR 15.575-1, devem ser previstas e realizadas manutenções preventivas sistemáticas e, sempre que necessário, manutenções com caráter corretivo. Estas últimas devem ser realizadas

assim que o problema se manifestar, impedindo que pequenas falhas progridam às vezes rapidamente para extensas patologias. (ABNT, 2013b, pág.15).

2.7.3 Parte 3: Sistemas de pisos

A Parte 3 da ABNT NBR 15.575 trata do desempenho do sistema de pisos, destinados para área de uso privativo ou de uso comum, com a inclusão dos elementos e componentes, de acordo com os critérios estabelecidos nesta norma (ABNT, 2013c).

A norma de desempenho caracteriza o sistema de piso, conforme esquema elucidado na Figura 4, constituído por um conjunto parcial de camadas, como exemplo contrapiso e acabamento, ou o conjunto total de camadas considerando também a camada estrutural.

Figura 4 - Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos



Fonte: NBR 15.575-3:2013 (ABNT, 2013c)

Nesta parte da norma são abordados fatores importantes relacionados ao conforto dos usuários, por exemplo, o isolamento acústico entre uma unidade habitacional e outra. Além disso, são tratados outros fatores como estanqueidade, desempenho térmico, resistência, entre outros, tanto para áreas comuns quanto para as áreas privativas das edificações. O atendimento aos requisitos em relação a este sistema, contribui para a segurança dos usuários, como a própria norma cita:

A segurança em uso de um sistema de piso é um requisito que cada vez mais tem atraído a atenção da comunidade técnica relacionada à produção do ambiente construído. As consequências de uma queda, principalmente para idosos, podem ser gravíssimas, resultando até em morte ou imobilização permanente. Estes acidentes são previsíveis e, portanto evitáveis, exigindo apenas atenção a alguns requisitos na especificação do sistema de piso da construção. (ABNT, 2013c, pág.4).

2.7.4 Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas

Os sistemas de vedação vertical interno e externo (SVVIE) são definidos pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) como as “partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas” (ABNT, 2013d).

Estes sistemas têm grande importância no contexto da edificação, uma vez que, apesar de não terem função estrutural, “integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho da edificação habitacional” (ABNT, 2013d).

Entre tais elementos podem ser citados, as esquadrias, coberturas, pisos e instalações, que ao interagir com as vedações, espera-se que as mesmas cumpram suas funções “como, estanqueidade à água, isolamento térmica e acústica, capacidade de fixação de peças suspensas, capacidade de suporte a esforços de uso, compartimentação em casos de incêndio etc” (ABNT, 2013d).

Para que estas funções sejam cumpridas, a norma estabelece requisitos relativos ao desempenho estrutural das vedações verticais internas e externas, quanto à sua estabilidade e resistência estrutural; aos seus deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas; às solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes; ao impacto de corpo-mole e corpo duro; às ações transmitidas por portas, às cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeitos de janelas.

Quanto à estanqueidade, são definidos na norma os requisitos relativos à umidade nas paredes internas e externas da edificação, de modo a “não permitir infiltração de água, através de suas faces, quando em contato com áreas molháveis e molhadas” (ABNT, 2013d). De modo específico para as fachadas, são determinados os requisitos para impedir infiltrações provenientes de águas de chuva.

Quanto ao desempenho térmico, as vedações verticais internas e externas, segundo a NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) devem apresentar transmitância térmica e capacidade térmica de acordo com sua zona bioclimática. Além disso, devem apresentar aberturas suficientes para proporcionar a ventilação interna dos ambientes.

Quanto ao desempenho de durabilidade e manutenibilidade das paredes externas, a norma estabelece que “devem ser limitados os deslocamentos, fissurações e falhas nas paredes externas, incluindo seus revestimentos, em função de ciclos de exposição ao calor e resfriamento que ocorrem durante a vida útil do

edifício” (ABNT, 2013d). Para isso, são realizados os ensaios de ação de calor e choque térmico conforme método prescrito no Anexo E da NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

Para garantir a manutenibilidade dos sistemas de vedações, a norma estabelece a previsão de manutenções preventivas e corretivas no manual de uso e operação da edificação.

2.7.5 Parte 5: Sistemas de coberturas

A Parte 5 da ABNT NBR 15.575-5 (ABNT, 2013e) “se refere às exigências dos usuários e aos requisitos referentes aos sistemas de coberturas (ABNT, 2013e)”. Os sistemas de cobertura compreendem todos os elementos e componentes localizados no topo da construção.

Os sistemas de coberturas têm como função “assegurar estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger demais sistemas da edificação habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais (ABNT, 2013e)”. Além proteger o corpo da edificação, estes sistemas contribuem para a durabilidade e conforto termoacústico da edificação, e ainda para a segurança de seus usuários.

Quanto ao desempenho estrutural, os sistemas de coberturas, de acordo com esta norma, devem atender a requisitos de resistência e deformabilidade, por exemplo, para permitir a fixação de luminárias nos forros e resistir aos efeitos provocados por chuva de granizo.

2.7.6 Parte 6: Sistemas hidrossanitários

A Parte 6 da norma trata dos sistemas hidrossanitários, que compreendem as instalações prediais de água fria, água quente, esgoto sanitário e de águas pluviais. As instalações elétricas não estão incluídas no escopo da NBR 15.575-6:2013 (ABNT, 2013f) pois fazem parte de um conjunto de normas baseado na ABNT NBR 5410.

Os sistemas hidráulicos prediais são “destinados a suprir os usuários com água potável e de reuso, e a coletar e afastar os esgotos sanitários, bem como coletar e dar destino às águas pluviais” (ABNT, 2013f). Diante disso, percebe-se a importância destas instalações para garantir as exigências dos usuários quanto à saúde e higiene.

Quanto à segurança estrutural, os sistemas hidrossanitários devem atender requisitos referentes à sua resistência mecânica, além das solicitações dinâmicas que

estão submetidos, “de modo a não provocar golpes e vibrações que impliquem risco à sua estabilidade estrutural” (ABNT, 2013f).

2.8 SISTEMAS DE VEDAÇÕES EXTERNOS

As etapas de desenvolvimento de uma edificação, desde a fase de concepção do projeto, execução da obra até a definição do plano de manutenções, segundo Possan e Demoliner, (2013), influenciam de maneira significativa na garantia da qualidade de sua estrutura, determinando assim sua vida útil.

Os sistemas de vedações externos, de acordo com Oliveira (2009), são um dos subsistemas mais importantes do edifício, pois valorizam a edificação quanto à sua estética, além de favorecer suas condições de habitabilidade e sustentabilidade.

Além desta importância, Oliveira (2009) também destaca a representatividade deste sistema no custo total de execução e manutenção da edificação, sendo esta uma das motivações pela busca de aplicação de novas tecnologias construtivas para as vedações externas. Entretanto, como ressaltado por este autor, o investimento no desenvolvimento destas tecnologias, no Brasil, ainda é pequeno.

Outra dificuldade apontada por Souza (2015), na adoção de novas tecnologias na construção civil, refere-se à tendência de comparar os produtos e sistemas inovadores com os tradicionais. Este autor cita como exemplo, a parede de tijolos maciços, como referência na década de 80, era utilizada como padrão no Código de Edificações de São Paulo, nesta época. Este Código, definia que as paredes externas, ou que delimitassem a unidade autônoma, deveriam atender as mesmas condições proporcionadas por uma parede de tijolos maciços com espessura de 25cm, com revestimento em argamassa.

Desta forma, segundo Souza (2015), qualquer nova especificação para as vedações externas das edificações, nesta época, era comparada com as características desta parede de tijolos maciços.

A partir de 2013, os parâmetros e critérios de avaliação de desempenho para os sistemas de vedações externos, assim como para os demais sistemas da edificação, sejam convencionais ou inovadores, independente dos materiais utilizados, foram estabelecidos com a publicação da NBR 15.575:2013.

Quanto às especificações para as vedações verticais externas, existe no mercado uma grande variedade de materiais, assim como diversas metodologias executivas, inovadoras ou tradicionais.

Os sistemas utilizados tradicionalmente na construção civil para execução das vedações externas das edificações são as alvenarias. Apesar disso, de acordo com o IPT (2009) não houve tanto avanço tecnológico das alvenarias, quando se compara a evolução dos demais sistemas da edificação, como exemplo, as estruturas e instalações. (IPT, 2009).

A alvenaria é um componente da edificação, constituído por um conjunto monolítico e estável, executado na própria obra. Estes conjuntos são formados por meio do assentamento de blocos ou tijolos, utilizando a argamassa como elemento de ligação. (SALGADO, 2016).

Apesar do emprego de materiais comuns, para a construção das alvenarias, Salgado (2016), destaca as principais propriedades que devem ser observadas em sua execução: (i) ergonomia; (ii) regularidade dimensional; (iii) absorção de água, (iv) tamanho do bloco; (v) desempenho térmico e acústico; (vi) peso específico e (vi) outras observações como por exemplo a capacidade de suporte de outros elementos.

Quanto aos principais elementos utilizados na execução das alvenarias, Salgado (2016) cita os tijolos comuns maciços, os blocos de concreto e os blocos cerâmicos. Além destes, também destaca o uso de blocos de concreto celular e silicocalcário.

Os blocos cerâmicos são fabricados com argila vermelha. Apesar de serem considerados materiais frágeis, são duráveis e resistentes, apresentam boa resistência ao calor, além de contribuírem com o isolamento térmico e acústico das vedações em alvenarias. No entanto, conforme Bauer (2008), a durabilidade dos blocos pode ser comprometida com a ação de agentes externos, como umidade e vegetação que penetram em seus poros.

Os blocos cerâmicos de vedação são componentes vazados, com furos prismáticos perpendiculares às suas faces. Normalmente são empregados com os furos dispostos horizontalmente, devendo resistir somente ao peso próprio e a pequenas cargas de ocupação, conforme citado em IPT (2009).

Os blocos cerâmicos para alvenarias de vedação, com ou sem revestimentos, devem atender à NBR 15.270-1:2005 (ABNT, 2005). Na Tabela 2, podem ser observadas as dimensões estabelecidas por esta norma, para a fabricação dos blocos cerâmicos de vedação.

Tabela 2 - Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação

Dimensões L x H x C Módulo Dimensional M = 10 cm	Dimensões de fabricação (cm)			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco principal	1/2 Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M		14	24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M			39	19
(3/2) M x (2) M x (2) M	14	19	19	9
(3/2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(2) M x (2) M x (3) M			29	14
(2) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19

NOTA Os blocos com largura de 6,5 cm e altura de 19 cm serão admitidos excepcionalmente, somente em funções secundárias (como em “*shafts*” ou pequenos enchimentos) e respaldados por projeto com identificação do responsável técnico.

Fonte: NBR 15.270-1:2005 (ABNT, 2005)

As principais características dos blocos cerâmicos, de acordo com a NBR 15.270-1:2005 (ABNT, 2005), encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação

Características visuais	Não apresentar quebras, superfícies irregulares ou deformações
Forma	Prisma reto
Tolerância dimensional individual relacionada à dimensão efetiva	± 5 mm (largura, altura ou comprimento)
Tolerância dimensional relacionada à média das dimensões efetivas	± 3 mm (largura, altura ou comprimento)
Espessura das paredes internas dos blocos	≥ 6 mm
Espessura das paredes externas dos blocos	≥ 7 mm
Desvio em relação ao esquadro	≤ 3 mm
Planeza das faces Flecha	≤ 3 mm
Resistência à compressão (área bruta)	$\geq 1,5$ MPa (para furos na horizontal) $\geq 3,0$ MPa (para furos na vertical)
Índice de absorção de água (AA) 8%	$8\% \leq AA \leq 22\%$

Fonte: NBR 15.270-1:2005 (ABNT, 2005).

Para o assentamento dos blocos cerâmicos, segundo Salgado (2016), são utilizadas argamassas compostas de cimento, cal hidratada e areia. De acordo com IPT (2009), a argamassa de assentamento pode ser industrializada ou preparada em obra e deve atender aos requisitos estabelecidos na norma NBR 13281 (ABNT, 2005a). Além de unir os blocos, estas argamassas contribuem com a resistência mecânica da parede e com a estanqueidade das juntas.

O Quadro 2 apresenta os traços recomendados pelo IPT (2009) para as argamassas de assentamento de blocos cerâmicos.

Quadro 2 - Traços indicativos de argamassas recomendados para execução de alvenarias de vedação

Material	Composição em volume – materiais na umidade natural			
	cimento	cal hidratada	areia	pedrisco
Argamassa de assentamento	1	2	9 a 12	-
Argamassa de fixação ("encunhamento")	1	3	12 a 15	-
Graute / micro-concreto	1	0,1	2,5	2

(*) para alvenarias aparentes, recomenda-se o traço de 1:1: 6 a 8

Fonte: IPT (2009)

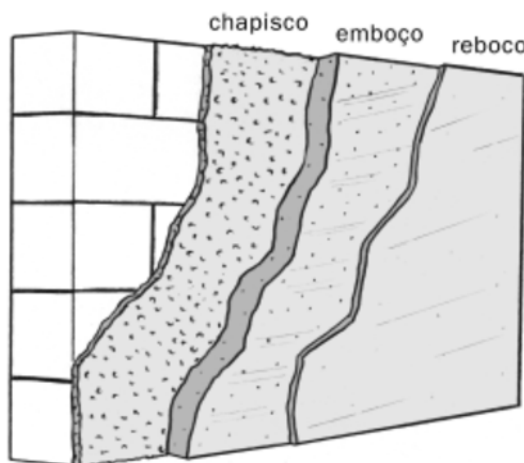
2.9 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA

As argamassas são revestimentos adequados para a proteção das paredes internas e externas, utilizados com muita frequência na maioria das obras, segundo Salgado (2016). O revestimento em argamassa contribui de forma significativa para o desempenho térmico e acústico das alvenarias. Normalmente este revestimento possui espessura uniforme, e sua superfície lisa favorece o acabamento decorativo

das paredes, conforme afirma a Associação Brasileira de Cimento Portland, ABCP (2002).

Para preparar a alvenaria para receber o emboço, Salgado (2016) recomenda que primeiro seja aplicado o chapisco, em uma camada fina de argamassa, para deixar a superfície rugosa. Após a execução do chapisco, normalmente, são executados o emboço e em seguida o reboco, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Camadas do revestimento em argamassa



Fonte: ABCP (2002)

O chapisco, segundo Salgado (2016), consiste em uma camada que varia de 5 a 7mm de espessura e para aplicação do emboço deve-se aguardar pelo menos 24 horas. De acordo com este autor, o emboço é aplicado com espessuras de 2 a 2,5mm, para corrigir eventuais irregularidades, como vazios e distorções de prumo da alvenaria.

Após a execução do emboço, deve-se aguardar no mínimo 21 dias, segundo Salgado (2016) para a execução do reboco. O reboco, segundo a ABCP (2002), deve ter superfície acabada de maneira a ser utilizado como acabamento final ou para que possa receber outro tipo de acabamento decorativo. No entanto, segundo Salgado (2016), é cada vez mais comum o uso dos revestimentos em argamassa em apenas duas camadas, sendo a primeira composta pelo chapisco e a segunda pelo emboço preparado de forma a obter o acabamento final.

De acordo com a NBR 13.749:2013 (ABNT, 2013g), as espessuras das argamassas devem atender os limites apresentados no Quadro 3. Quando for necessária a utilização de espessuras superiores a estas, deverão ser observadas as recomendações da NBR 7200 (ABNT, 2013g).

Quadro 3 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos

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

Fonte: NBR 13.749:2013 (ABNT, 2013g).

O revestimento de argamassa deve apresentar aderência com a base de revestimento e entre suas camadas constituintes, por meio de ensaio conforme prescrito pela ABNT NBR 13.528 (ABNT, 2010), e devem atender os limites de resistências constantes nesta norma.

Quanto ao método de execução, os revestimentos em argamassa podem ser aplicados de forma manual ou mecânica com utilização de projetores com recipientes acoplados, bombas de projeção e bombas de projeção com misturador integrado. Para isso, segundo Crescêncio *et al* (2000) a argamassa deve ser própria para o bombeamento, para não causar entupimento do mangote e nem o deslocamento da projeção.

Segundo Paravisi (2008) a execução dos revestimentos com argamassa projetada, pode favorecer a sua qualidade, e diminuir a dependência em relação à mão-de-obra no transporte e aplicação de argamassa. No entanto, Crescêncio *et al* (2000), destacam que mão-de-obra qualificada e organização do canteiro são fundamentais para o sucesso da implementação dessa tecnologia.

A resistência de aderência à tração dos revestimentos em argamassa também é discutida por pesquisadores como Roman *et al* (2000) e Fernandes (2017), que constataram que os corpos de prova avaliados em seus estudos não perderam resistência de aderência à tração em função da aplicação dos ciclos térmicos de acordo com a NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d). Por outro lado, nos experimentos de Crescêncio e Barros (2003), Esquivel (2009), entre outros, houve perda desta resistência após os choques térmicos.

2.10 SISTEMAS INOVADORES PARA VEDAÇÕES E REVESTIMENTOS

No mercado da construção civil, conforme CBIC (2016), para que as empresas tenham bom desempenho em seus negócios, é importante que elas estejam

sintonizadas com a inovação, considerando a relevância dos aspectos de produtividade e competitividade.

O Regimento Geral do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT), Anexo da Portaria nº 550/2016 do Ministério das Cidades, de 11 de novembro de 2016, define como sistemas convencionais aqueles que já possuem normas técnicas publicadas pela ABNT e como inovadores os que ainda não são normatizados pela ABNT. E ainda considera como inovação, as alterações realizadas nos produtos ou processos convencionais.

A introdução de inovação tecnológica, tanto em produtos como em processos, mostra-se uma alternativa viável para a construção civil. De acordo com CBIC (2016) estas inovações compreendem soluções simples incorporadas a um processo existente, a criação de um novo produto para atender novas demandas, ou ajustes necessários às produções em maior escala.

Para as inovações dos sistemas de vedações verticais, além da utilização de blocos em concreto e cerâmica, empregados na execução das alvenarias, Fontenelle (2012) destaca a aplicação de outros materiais e sistemas, como exemplo: concreto moldado in loco, placas de concreto pré-fabricadas, placas cimentícias, painéis de vidro, painéis metálicos, painéis de placas cerâmicos, entre outros.

Os painéis de concreto, por exemplo, de acordo com Pereira (2001) são utilizados com função estrutural ou de vedação, desde a década de 50 no mercado internacional.

2.11 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Para melhor análise do comportamento dos sistemas de vedações quando submetidos aos ensaios de ação de calor e choque térmico, torna-se necessário o entendimento de conceitos básicos de transferência de calor.

O calor, segundo Borgnakke e Sonntag (2010) e Poças (2008), trata-se de um fenômeno transitório, pois transfere a energia de um sistema que apresenta maior temperatura para outro de temperatura inferior.

Outro aspecto da definição de calor, segundo Borgnakke e Sonntag (2010), é que um corpo nunca contém calor e que este calor somente pode ser identificado quando atravessa a sua fronteira.

De acordo com Poças (2008), a identificação dos processos de transferência de calor existentes em um sistema, deve ser feita antes de sua análise térmica.

Assim, com a transferência de calor, segundo Poças (2008) há o equilíbrio térmico e os corpos passam a ter a mesma temperatura.

Portanto, quando houver diferença de temperatura entre os corpos, haverá transferência de calor entre os mesmos. Para que ocorra esta transferência existem diferentes processos de transferência de calor, denominados condução, convecção e radiação, que terão seus conceitos básicos apresentados nos itens seguintes.

2.11.1 Condução

O mecanismo físico da transferência de calor por condução, segundo Moran *et al.* (2005) envolve os conceitos de atividade atômica e molecular, quando em uma substância, as partículas mais energéticas transferem energia para outras de menor energia. Esta energia, de acordo com Moran *et al.* (2005) depende do movimento aleatório destas partículas, tanto de translação, rotação e vibração.

A condução é definida por Poças (2008) como um processo, onde a energia é transferida de uma região com temperatura maior para outra de temperatura menor, quando em contato direto, podendo ser no estado sólido, líquido ou gasoso, entre um ou mais meios.

Este mecanismo, de acordo com Poças (2008), consiste na transferência de energia de partículas com mais energia para partículas com menos energia devido à sua interação.

A transferência de energia entre partículas, é definida por Borgnakke e Sonntag (2010), como a transferência de calor por condução, que aumenta conforme a diferença de temperatura e sua capacidade transferir esta energia.

A capacidade de transferência de energia entre partículas, depende da condutibilidade térmica do material, definida por Poças (2008) como a capacidade que uma substância tem de transferir calor.

A quantidade de energia que será transferida por unidade de tempo, é expressa pela lei de Fourier, cuja equação de taxa de transferência de calor está demonstrada no esquema apresentado na Figura 6, onde q''_x equivale à taxa de condução de calor, ΔT é a diferença de temperatura e Δx corresponde à espessura.

Lei de Fourier

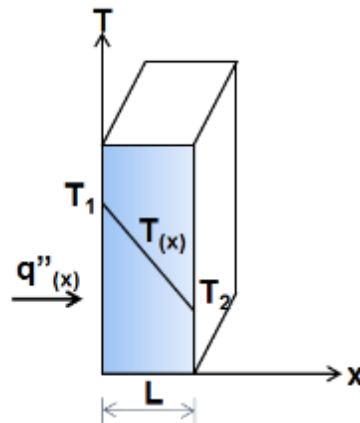
$$q''_x = -K (\Delta T / \Delta x)$$

(Equação 1)

A constante de proporcionalidade K é uma propriedade conhecida como condutividade térmica (W/m.K) sendo uma característica do material, conforme explica Moran *et al.* (2005).

O sentido da transferência de calor é da região que apresenta temperatura mais alta para a que apresenta temperatura mais baixa é indicado pelo sinal negativo (BORGNAKKE e SONNTAG, 2010).

Figura 6 - Transferência de calor unidimensional por condução



Fonte: Adaptado de Moran *et al.* (2005)

2.11.2 Convecção

O termo convecção, segundo Moran *et al.* (2005), refere-se à transferência de calor que irá ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento ou estacionário quando eles estão em temperaturas diferentes.

A convecção, de acordo com Poças (2008), acontece por meio da transferência de calor entre partículas em movimento desordenado (por difusão) e entre as partes em movimento de um fluido com diferentes temperaturas (troca de calor).

O movimento da substância como um todo, no modo de transferência de calor por convecção, segundo Borgnakke e Sonntag (2010), provoca o deslocamento da do fluido em movimento sobre a superfície que apresenta temperatura diferente.

Nesse caso a transferência do calor por condução, é dominada por Borgnakke e Sonntag (2010), pela maneira como o escoamento traz as duas substâncias em contato ou em proximidade. Por exemplo, o vento soprando em um edifício

A transferência de calor por convecção é classificada como natural ou forçada, de acordo com a natureza do escoamento do fluido, conforme Moran *et al.* (2005) e Poças (2008).

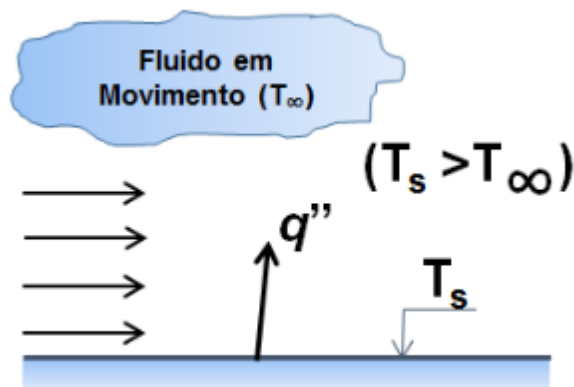
A convecção natural, Poças (2008), ocorrerá quando a diferença de pressão se originar da existência de gradientes térmicos, enquanto a convecção forçada ocorrerá quando estas diferenças forem originadas por ações externas (ex: vento, ar forçado, etc).

Segundo Moran *et al.* (2005), independentemente da natureza particular do processo de transferência de calor por convecção, a equação apropriada para definição da taxa é conhecida como a lei do resfriamento de Newton.

$$\text{Lei do resfriamento de Newton} \quad \Rightarrow q'' = h (T_s - T_\infty) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde q'' é o fluxo térmico por convecção (W/m^2) proporcional à diferença entre as temperaturas da superfície do fluido ($T_s - T_\infty$), sendo T_s a temperatura da superfície e T_∞ a temperatura do fluido suficientemente longe da superfície. A constante de proporcionalidade h ($\text{W/m}^2.\text{K}$) é denominada coeficiente de transferência de calor por convecção, conforme esquema apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Convecção de uma superfície para um fluido em movimento

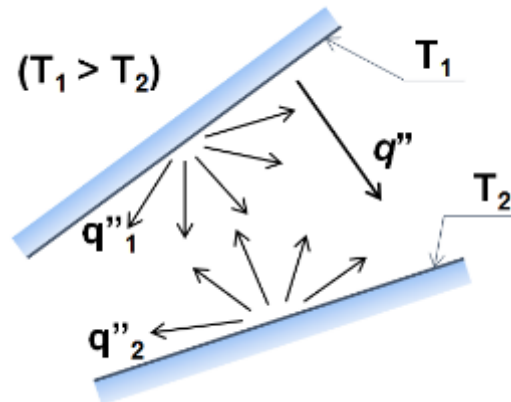


Fonte: Adaptado de Moran *et al.* (2005)

2.11.3 Radiação

A radiação térmica é definida por Poças (2008) como o processo de transferência de calor entre duas superfícies separadas no espaço, mesmo que exista vácuo entre elas, sendo que uma apresenta temperatura superior à outra. Este processo de transferência por radiação encontra-se representado no esquema da Figura 8.

Figura 8 - Sistema de transferência de calor por radiação



Fonte: Adaptado de Poças (2008)

Segundo Moran *et al.* (2005), enquanto a transferência de energia por condução ou convecção necessita da presença de um meio material, a radiação não necessita dele.

O fluxo máximo de radiação que pode ser emitido por uma superfície isolada é dado pela lei de Stefan-Boltzman (POÇAS, 2008; MORAN *et al.*, 2005; BORGNAKKE e SONNTAG, 2010). Sendo a taxa de emissão superficial de energia, escrita como uma fração, emissividade ϵ , da taxa de emissão de um corpo negro perfeito (BORGNAKKE e SONNTAG, 2010).

$$\text{Lei de Stefan-Boltzman} \quad Q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A T_s^4 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde T_s é a temperatura da superfície, ϵ é a emissividade da superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzman equivalente a $(5,6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4)$ e correspondente ao fluxo de um corpo negro.

Um corpo negro, segundo Poças (2008), se caracteriza por ser um emissor perfeito, ou seja, por absorver toda a energia que incide sobre ele absorve, não importando a direção ou o comprimento desta incidência.

Segundo Borgnakke e Sonntag (2010), as superfícies metálicas não polidas apresentam emissividade entre 0,6 e 0,9, enquanto as superfícies não metálicas variam em torno de 0,92.

2.12 ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Esta seção encontra-se organizada em duas partes, sendo apresentado em sua primeira parte o histórico sobre a aplicação do ensaio de ação de calor e choque térmico, e na segunda parte destaca os principais trabalhos realizados até o momento, relacionados ao tema da pesquisa.

2.12.1 Estudos desenvolvidos com o ensaio de calor e choque térmico

Na década de 90 os ensaios de ação de calor e choque térmico já eram empregados em pesquisas, como o estudo de Geyer (1994) que avaliou a influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato de alvenaria de tijolos, verificando o comportamento do revestimento quanto a sua resistência à tração. Para realização do ensaio, Geyer (1994) cita que não havia muitos recursos, sendo necessária a utilização de paquímetro para medição dos deslocamentos e termômetros para verificação das temperaturas.

Apesar das dificuldades relatadas por Geyer (1994) ele conclui que o choque térmico não causou descolamento ou danos aos revestimentos de azulejos. E ainda destaca que, ao contrário dos efeitos de danos esperados, os azulejos com dimensões de 15x15cm mostraram-se ainda mais aderidos ao substrato após os ciclos de choque térmico em relação aos corpos de prova de referência.

A partir da década de 90, a maioria dos estudos, relacionados ao ensaio de choque térmico, identificados nesta pesquisa, passaram a ter como referência a publicação do IPT intitulada “Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social”.

Com o uso deste método de ensaio, Crescêncio e Barros (2003) analisaram a influência do choque térmico na resistência à tração do revestimento decorativo monocamada, por meio de simulação em laboratório das condições reais de utilização.

Segundo Crescêncio e Barros (2003) os revestimentos foram executados sobre pórticos constituídos por uma estrutura de concreto armado (pilares e vigas inferior e superior), vedada com alvenaria de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, variando-se o preparo de base com a aplicação e sem a aplicação de chapisco.

Para a avaliação do efeito do choque térmico no desempenho dos revestimentos decorativos monocamada, Crescêncio e Barros (2003), além da análise de formação

de fissuras, verificaram a resistência de aderência à tração antes e após o ensaio de choque térmico e constataram que a mesma reduziu.

No ano anterior em que foi publicada a ABNT NBR 15.575, Fontenelle (2012) elencou alguns tópicos como diretriz para reavaliação dos procedimentos e parâmetros do ensaio de choque térmico sobre as vedações verticais. Ele considerou que a situação que o ensaio pretende reproduzir, é a mudança brusca da temperatura superficial desta vedação quando, após um período de incidência solar, é atingida por uma chuva repentina. O estudo concluiu que para uma legitimação dos resultados obtidos, é preciso uma minuciosa verificação entre as solicitações que podem ocorrer em situação real e as que ocorrem durante o ensaio.

Os principais aspectos apontados por Fontenelle (2012), que justificavam a necessidade de revisão no método de ensaio de ação de calor e choque térmico prescrito na versão da norma de desempenho publicada em 2008, a NBR 15.575:2008 (ABNT, 2008), são: (i) condição de contorno do corpo de prova no ensaio de choque térmico; (ii) referência do nível de energia a atingir a superfície da vedação; (iii) tempo de permanência com superfície aquecida; (iv) tempo de aspersão para resfriamento; e (v) intervalos entre ciclos de choques térmicos.

No entanto, Fontenelle (2012) destaca que qualquer decisão de alteração do processo deveria levar em conta a reprodução das solicitações que os materiais constituintes desta vedação estariam submetidos em situação de uso, dentro de limites de simplificação necessários para se garantir uma abrangência sobre os mais diversos sistemas empregados.

Lorenzi (2013), ao analisar criticamente os ensaios experimentais de desempenho, elaborou proposições de avanços nos métodos e procedimentos de ensaios à luz da ABNT NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013) para edificações HIS térreas. Esta análise foi baseada em dados do acervo técnico do Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e evidenciou a possibilidade de melhorias no ensaio de ação de calor e choque térmico para sistema de vedação vertical externo (SVVE).

Lorenzi (2013) destaca a insuficiência de informações especificadas no critério de aplicabilidade e exequibilidade do ensaio, que pode induzir a resultados não fidedignos do comportamento do SVVE, prejudicar a interpretação dos dados e impedir uma análise adequada de desempenho do SVVE.

Outra pesquisa importante, realizada por Barbosa (2013), estudou os efeitos que um choque térmico, decorrente de uma intempérie que provoque uma queda brusca na temperatura ambiente junto à face externa de uma fachada, causa na vida útil do sistema de revestimento.

A pesquisa de Barbosa (2013) teve como objetivo estudar os efeitos causados pelo choque térmico em um sistema de vedação em alvenaria, revestida de um lado com emboço e do outro lado com emboço, argamassa colante e cerâmica com rejunte. Barbosa (2013) desenvolveu a pesquisa em duas etapas com enfoques diferentes. Na primeira etapa foi feita a análise térmica, com enfoque analítico-matemático, objetivando determinar expressão matemática que explicasse a distribuição de temperatura no interior da parede como resultado da ocorrência de choque térmico.

Na segunda etapa, fez-se a análise mecânica com enfoque numérico, utilizando malha de elementos finitos para modelar apenas a estrutura de revestimento da parede, onde foram atribuídas as temperaturas do interior da parede (determinadas pela equação obtida na análise térmica), com a finalidade de determinar as tensões que solicitam a estrutura, advindas do choque térmico recebido.

Barbosa (2013) avaliou o desempenho da camada de emboço da estrutura de revestimento frente à fadiga provocada por ciclos da tensão alternada que surge em virtude do choque térmico climático e concluiu que o choque térmico climático é um evento que provoca danos à camada de emboço, contribuindo, em conjunto com outras patologias, para um futuro colapso do sistema de revestimento cerâmico.

Na pesquisa de Oliveira, Fontenelle e Mitidieri Filho (2014), também foi adotado o ensaio de ação de calor e choque térmico, para avaliar a resistência de fachada leve em placas cimentícias. Os autores realizaram testes em corpos de prova com 1,20m e com 2,40m de comprimento, vinculando as laterais do corpo de prova, simulando o que pode ocorrer em situações normais de uso. Segundo estes autores, o método de ensaio proposto pela norma brasileira difere em alguns aspectos dos métodos de ensaios de algumas normas estrangeiras.

Por exemplo, a temperatura máxima da superfície exposta do corpo de prova: na NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b) é de $(80\pm3)^{\circ}\text{C}$, na ETAG 004 (EUROPEAN..., 2008) é de $(70\pm5)^{\circ}\text{C}$ e na ASTM C1185-8 (AMERICAN..., 2012) e na ISO 8336 (INTERNATIONAL..., 2009) é de $(60\pm5)^{\circ}\text{C}$. Além dessas diferenças, existem variações quanto ao método de medição da temperatura, sendo na norma brasileira especificada a medição por meio de termopares diretamente acoplados à superfície externa do elemento de vedação, enquanto pela ASTM os termopares são fixados em pequenas placas metálicas pintadas de preto, utilizadas como placas de referência, que são

fixadas na superfície do corpo de prova. (OLIVEIRA, FONTENELLE, MITIDIERI FILHO, 2014, pág.55).

Outra recente pesquisa, realizada por Pacheco (2017), apresentou críticas e proposições de melhorias no ensaio de ação de calor e choque térmico recomendado pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) e também desenvolveu os equipamentos necessários para o ensaio com as informações contidas no Anexo E da norma.

Na pesquisa desenvolvida por Pacheco (2017) o ensaio foi realizado durante um período de seis dias, utilizando dois corpos de prova com dimensões de 1,25 x 2,3m, sendo cada um submetido a 10 ciclos térmicos, conforme exige a norma.

Pacheco (2017) destaca que apesar das incertezas e da falta de especificação da norma, os ensaios foram realizados com sucesso e permitiram uma correta avaliação do sistema e dos equipamentos. Com base nos critérios de aceitabilidade da norma, destaca que os SVVE ensaiados são adequados para o fim pretendido possuindo, dessa forma, o nível de desempenho em atendimento à NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

Independente do sucesso dos resultados obtidos em seus ensaios, Pacheco (2017), realizou algumas críticas e considerações a respeito de melhorias nos métodos e procedimentos de ensaio, nos equipamentos empregados, nos corpos de prova e nos critérios de aceitabilidade.

Uma pesquisa utilizando blocos de solo-cimento, foi desenvolvida por Giorgi (2016), adotando também o ensaio de ação de calor e choque térmico. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e consistiram em duas paredes em escala real. Giorgi (2016) conclui que, quanto ao aspecto de durabilidade, o sistema de vedação utilizando blocos de solo-cimento atende a todos os requisitos exigidos pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d).

Fontenelle *et al.* (2017) analisaram e discutiram o método de ensaio, destacando aspectos relacionados as temperaturas superficiais limites, a taxa de elevação da temperatura superficial, o controle dos parâmetros do fluxo de água de resfriamento, as tolerâncias entre valores de temperaturas da face da parede (diferenças entre centro e bordas), a contenção lateral dos corpos de prova e o comprimento do corpo de prova.

As dimensões dos corpos de prova foram também objetos de pesquisa de Fernandes (2017), que realizou ensaios de choque térmico em 3 amostras, sendo duas com tamanhos reduzidos (60x40cm e 30x40cm) em relação às dimensões de 1,20x2,40m recomendadas pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d). Todas as combinações foram sujeitas a 10 e 30 choques térmicos e as avaliações foram realizadas antes e após os ciclos. Fernandes (2017) relata que os choques térmicos não influenciaram na aderência e na permeabilidade dos revestimentos.

Uma pesquisa sobre sistemas de vedações com componentes reciclados e utilizando o ensaio de ação de calor e choque térmico, conforme determinado pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) foi desenvolvida por Sentena, Kazmierczak e Krein (2018). Os pesquisadores avaliaram as propriedades de revestimentos de argamassas produzidas com (cimento, cal e areia) e finos produzidos a partir de agregado reciclado de concreto, adicionado nos teores de 2%; 4,5%; 7% e 9,5% em relação à massa da areia.

Segundo Sentena, Kazmierczak e Krein (2018), os revestimentos foram avaliados após 28 dias da aplicação sobre substrato de cerâmica vermelha, em relação à resistência de aderência e forma de ruptura, antes e depois da exposição aos ciclos de térmicos.

Apesar da norma recomendar a execução de 10 ciclos, Sentena, Kazmierczak e Krein (2018) realizaram 40 ciclos térmicos em sua pesquisa, utilizando câmaras de ensaio com sistema de controle de temperatura programável com dimensões de 50x40x140cm, com filmagem em infravermelho e monitoração por termopares.

Segundo Sentena, Kazmierczak e Krein (2018), todos os revestimentos apresentaram redução de 15% na resistência de aderência, no entanto, após 40 ciclos de choques térmicos, quatro vezes maior que o número de ciclos recomendados pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d), não foram identificadas fissuras visíveis em nenhum dos revestimentos.

2.12.2 Principais conclusões e recomendações dos pesquisadores

A partir do estudo das pesquisas apresentadas, pode ser percebida a preocupação dos pesquisadores com a clareza na prescrição dos procedimentos para realização do ensaio, assim como no ajuste dos critérios e parâmetros para avaliação correta dos requisitos de durabilidade e manutenibilidade dos sistemas de vedações

verticais externos. Os principais aspectos abordados pelos pesquisadores estudados, serão descritos a seguir.

2.12.2.1 Dimensões do corpo de prova

Lorenzi (2013) e Pacheco (2017) identificaram falta de clareza no Anexo E da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d), no que se refere a definição das dimensões do corpo de prova ensaiado, e propõem que sejam acrescentadas no texto desta norma, as medidas do corpo de prova.

Segundo Lorenzi (2013), como a rigidez de um corpo de prova varia com sua largura, as dimensões do corpo de prova devem ser mais próximas possíveis dos valores reais e sugere largura de um metro e altura do pé-direito (2,40m).

Oliveira, Fontenelle e Mitidieri Filho (2014), vão um pouco além, pois consideram que o ensaio realizado em um trecho de parede maior e com restrições nas laterais reproduz melhor a realidade, verificando maior semelhança entre os resultados de laboratório e de campo, ao analisarem o teste com o corpo de prova com dimensões de 2,4 x 2,6m.

Segundo Fontenelle *et al.* (2017), a adoção de corpo de prova com maior comprimento visa simular uma continuidade da parede, que poderia proporcionar restrições às movimentações da parede, por efeito de temperatura e umidade.

Diante do exposto, percebe-se que a definição das informações com detalhes suficientes e claros, para a montagem do corpo de prova, pode influenciar de forma positiva nos resultados dos ensaios.

2.12.2.2 Especificação do painel radiante

Consoante com o citado no item anterior, quanto ao painel radiante, Lorenzi (2013) constatou insuficiências na descrição do ensaio para a montagem do equipamento, bem como para o seu posicionamento em relação ao corpo de prova. Este autor propõe que seja incluído na NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) que o equipamento deve proporcionar temperatura homogênea no corpo de prova. Sugere também melhorar a definição do equipamento: tipo de funcionamento, controle da interação equipamento/corpo de prova.

Pacheco (2017) também cita que a norma apresenta o ensaio de comportamento do SVVE exposto à ação de calor e choque térmico de forma deficiente, com

informações e croquis pouco detalhados, o que gera dúvidas durante o desenvolvimento dos equipamentos e na reprodução do ensaio.

Por este motivo, Pacheco (2017), além de sugerir que a norma detalhe as especificações do painel radiante e do equipamento de resfriamento, recomenda a incorporação de ventilação forçada combinada com a radiação de calor pelas resistências, com aberturas na parte superior para controle do fluxo de calor a fim de auxiliar o processo de manutenção da temperatura constante e uniforme em toda a superfície ensaiada.

No que se refere à área da parede que será submetida ao ciclo térmico, tanto Pacheco (2017) como Lorenzi (2013), sugerem que a totalidade do corpo de prova deve ser exposta aos ciclos de aquecimento e resfriamento, de forma a representar um trecho de uma fachada que, na prática, recebe por inteiro a insolação solar.

A falta de especificações detalhadas para o painel radiante foi também identificada por Geyer (1994), que relata dificuldade no controle da temperatura durante o ensaio.

2.12.2.3 Controle da temperatura

Para conseguir melhor uniformidade da temperatura no corpo de prova durante o aquecimento Geyer (1994) utilizou lâmpadas com menor potência (100w) na parte superior do painel e com maior potência (150w) na parte inferior.

Diferente de Geyer (1994), Pacheco (2017) adotou resistências elétricas em sua pesquisa. Com controle único de todas as resistências, durante a realização do ensaio, foi observada a formação de zonas frias no painel, o que influenciou a homogeneidade da temperatura no corpo de prova.

Como solução, Pacheco (2017) propõe o controle de temperatura do tipo multizonas, de maneira que possibilite o gerenciamento e a manipulação de cada resistência de forma individual, para atingir a homogeneização do calor e da manutenção térmica da superfície na faixa $80\pm3^{\circ}\text{C}$, durante o período de 1 hora exigido pela norma.

Lorenzi (2013) também expõe a dificuldade do controle de temperatura em sua pesquisa, uma vez que o equipamento radiante utilizado em toda extensão da parede, imprimiu temperaturas muito elevadas em sua parte superior. Por este motivo, o autor destaca que a radiação de calor apenas na parte inferior do painel radiante em conjunto com a convecção do ar ajuda a homogeneizar as temperaturas no corpo de prova.

Além do controle para manter a temperatura, Oliveira, Fontenelle e Mitidieri Filho (2014), recomendam que sejam incluídos na norma os critérios para definir o intervalo de tempo (mínimo e máximo), necessários para elevar a temperatura da superfície do corpo de prova. Este critério procuraria representar da melhor forma possível as condições que ocorrem em ambiente real.

2.12.2.4 Confinamento do corpo de prova

O confinamento das extremidades do corpo de prova é um aspecto do ensaio bastante discutido entre os pesquisadores, uma vez que a norma somente cita que o corpo de prova deve ser apoiado nas bordas superiores e inferiores, não recomendando nenhum procedimento para as bordas laterais.

A recomendação para o confinamento do corpo de prova em todas as suas extremidades foi feita por Pacheco (2017), Fontenelle e Mitidieri Filho (2016), Oliveira, Fontenelle e Mitidieri Filho (2014), Lorenzi (2013), Fontenelle (2012) e Esquivel (2009), visando simular a situação real na obra.

Esquivel (2009) reforça a importância deste confinamento, considerando que a resposta do material ao ensaio de choque térmico está relacionada às suas condições de contorno, isso é, com a presença de restrições à livre deformação do corpo, há uma intensificação do estado de tensões.

Sem as contenções laterais, de acordo com Fontenelle e Mitidieri Filho (2016), o corpo de prova pode se expandir ou contrair, alterando as dimensões verificadas em situação de equilíbrio.

2.12.2.5 Números de ciclos e intervalos

A norma determina que sejam realizados 10 ciclos sucessivos em cada corpo de prova, mas não especifica o intervalo entre eles. Pacheco (2017) e Lorenzi (2013), por exemplo, realizaram os seus ensaios com intervalos irregulares entre os ciclos.

Sobre este aspecto, Fontenelle (2012) afirma que a repetição dos ciclos com o menor intervalo possível para o restabelecimento das condições iniciais permitirá uma previsão com menor possibilidade de desvio do comportamento que o componente apresentará durante a sua vida útil, evitando assim a ocorrência de inconvenientes não esperados.

No entanto, Sentena, Kazmierczak e Krein (2018), realizou 40 ciclos de choques térmicos, quatro vezes maior que o número de ciclos recomendados pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d), e não foram identificadas fissuras visíveis em nenhum dos ensaios.

2.12.2.6 Deslocamento Horizontal

Em nenhum dos estudos anteriores, de acordo com a literatura consultada, foram identificados deslocamentos horizontais acima do limite de $H/300$, estabelecido pela norma.

O Anexo E da NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) determina que o deslocamento horizontal não seja superior a $h/300$, onde h é a altura do corpo de prova. Considerando que este parâmetro é insuficiente para a correta avaliação, Lorenzi (2013) propõe a redução do limite de aceitabilidade deste deslocamento em 50% em relação ao estabelecido pela norma.

Giorgi (2016) também relata que as paredes, em quase todos os ciclos, praticamente voltaram à sua posição inicial após o resfriamento a $20\pm5^{\circ}\text{C}$, o que demonstra que a parede não sofre deslocamentos significativos quando exposta aos ciclos térmicos.

Lorenzi (2013) explica que “o deslocamento horizontal residual proporciona informações pertinentes e importantes quanto a danos cumulativos e permanentes que podem afetar o comportamento de SVVE em uso, ao longo da vida útil”.

Outro aspecto que interfere na avaliação do deslocamento horizontal, é o posicionamento do defletômetro. A fixação do defletômetro em suporte independente do corpo de prova, com o objetivo de suprimir influências causadas pelo deslocamento do próprio corpo de prova é sugerida por Lorenzi (2013) e Pacheco (2017).

Sentena, Kazmierczak e Krein (2018), vão além e sugerem a adoção de outros critérios, além dos especificados na norma brasileira, que permitam a avaliação da degradação de revestimentos de argamassa expostos a ensaios de envelhecimento acelerado, visto que apenas a avaliação da fissuração superficial e a análise de deformações não são suficientes para distinguir o nível de degradação em muitos sistemas de revestimento.

2.12.2.7 Resfriamento

O resfriamento do corpo de prova por meio de simulação de chuva intensa (aspersão de jatos de água com vazão constante de 7m³/h e pressão de 32mca) é sugerido por Lorenzi (2013). Este autor sugere ainda que a água utilizada deve ser mantida em temperatura controlada 20±5°C, para que a superfície aquecida do corpo de prova sofra uma variação de temperatura entre 52°C e 68°C.

Fontenelle *et al.* (2017) sugerem para o resfriamento da superfície do corpo de prova, que a temperatura da água seja mantida em 15±2°C e a vazão de aspersão da água em 3L/(m².min), que corresponde à vazão especificada na NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) para os ensaios de estanqueidade.

O propósito desta aspersão, de acordo com Fontenelle *et al.* (2017), é simular uma chuva contínua sobre uma parede aquecida pelo sol. Ao afastar o dispositivo de aspersão da parede, sua temperatura deveria voltar para a temperatura ambiente. No entanto, os autores salientam que devido a energia acumulada no interior da parede, sua temperatura tende a se elevar.

2.12.2.8 Termopares

O único autor a abordar a questão da mensuração da temperatura dos corpos de prova foi Pacheco (2017). Este autor sugere, em função da repetibilidade de leitura nos ciclos térmicos de aquecimento e resfriamento, que seja contemplado, no procedimento do ensaio, a verificação da calibração dos sensores, antes do início do ciclo 1 e ao final dos 10 ciclos, a fim de avaliar possíveis desvios e perda da precisão nas medições.

Pacheco (2017) também sugere que a norma não se limite ao tipo de termopar e recomenda a utilização de sensores do tipo termoresistências, por suas características de estabilidade e precisão nas medições quando submetidos a alto grau de repetibilidade de leitura.

2.12.2.9 Referência do nível de energia a atingir a superfície da vedação

Segundo Fontenelle (2012) a radiação máxima que pode incidir sobre a superfície da vedação pode ser facilmente calculada, tendo como base a latitude em relação ao Equador e a orientação em relação aos eixos cardiais da vedação. Já a temperatura que esta vedação pode atingir dependerá de outros fatores tais como absorvância da

superfície da vedação, emissividade, condutividade térmica do material, densidade da vedação, brilho, rugosidade, impregnação, entre outros.

Oliveira, Fontenelle e Mitidieri Filho (2014), sugerem a redução da temperatura máxima que a superfície do corpo de prova é submetida, para a temperatura de distorção limite que o material pode suportar sem perder suas propriedades mecânicas, seja inferior a 80°C, como exemplo os plásticos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta-se em duas partes, sendo a primeira constituída pela definição do método de abordagem da pesquisa e a segunda pelo detalhamento dos procedimentos técnicos adotados para o seu desenvolvimento.

3.1 MÉTODO DE ABORDAGEM

Segundo Andrade (2012) as pesquisas podem ser classificadas de várias formas, por critérios que variam segundo diferentes enfoques. No caso desta pesquisa, a classificação será realizada quanto à sua finalidade, quanto aos objetivos e aos procedimentos técnicos.

De acordo com sua finalidade, segundo Gil (2017), as pesquisas podem ser classificadas como aplicadas (com objetivo de resolver um problema específico) ou básicas (com objetivo de gerar conhecimento). Neste contexto, esta pesquisa se classifica como básica, pois visa contribuir com o preenchimento de lacunas de informações que existem na NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

Do ponto de vista dos objetivos a presente pesquisa pode ser classificada como descritiva, pois serão realizados ensaios de ação de calor e choque térmico em corpos de prova construídos em alvenarias de blocos cerâmicos. Será observado o comportamento destes corpos de prova durante os ensaios, registrados os dados e ocorrências antes e durante a sua realização. Posteriormente serão analisados e interpretados os resultados, de forma a chegar na resposta da pergunta de pesquisa. No entanto, considerando seus objetivos, de acordo com Andrade (2012), esta pesquisa não deixa de ter sua abordagem exploratória, pois trata-se do levantamento bibliográfico e do estudo sobre as pesquisas já realizadas utilizando o método de ensaio recomendado pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

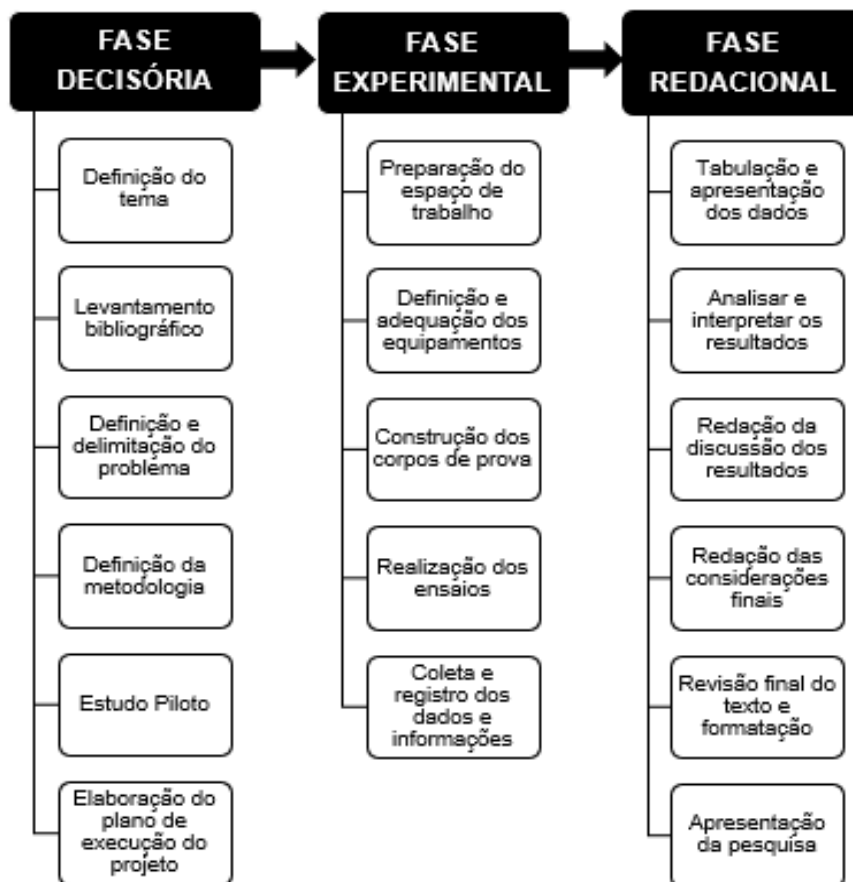
Quanto aos seus procedimentos técnicos, esta pesquisa pode ser classificada como experimental, considerando que o objeto de estudo (corpos de prova com dimensões distintas) terá seu comportamento observado, para análise do efeito que a variação de tamanho pode influenciar no atendimento ao requisito “Durabilidade”, conforme exigido pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d). O estudo experimental, segundo Gil (2017), consiste na determinação de um objeto de estudo, na seleção das variáveis que o influenciam e na definição de como os efeitos produzidos serão observados e controlados.

Quanto à sua abordagem, esta pesquisa se classifica como quantitativa e também como qualitativa, uma vez que, apesar dos ensaios experimentais resultarem em dados numéricos, os mesmos serão traduzidos em informações, com análises sobre o comportamento dos sistemas de vedações verticais externas das edificações, comparados com os parâmetros estabelecidos pela NBR 15.575:2013-4 (ABNT, 2013d).

3.2 MÉTODO DE PROCEDIMENTOS

O método é considerado por Marconi e Lakatos (2017) como o conjunto de atividades que permite ao pesquisador, traçar um caminho com segurança, para que os objetivos de sua pesquisa sejam alcançados. Assim, para o desenvolvimento desta pesquisa, foi elaborado um planejamento inicial, contemplando as principais etapas que deverão ser realizadas para alcançar os objetivos do estudo em 03 fases distintas, conforme pode ser observado na Figura 9.

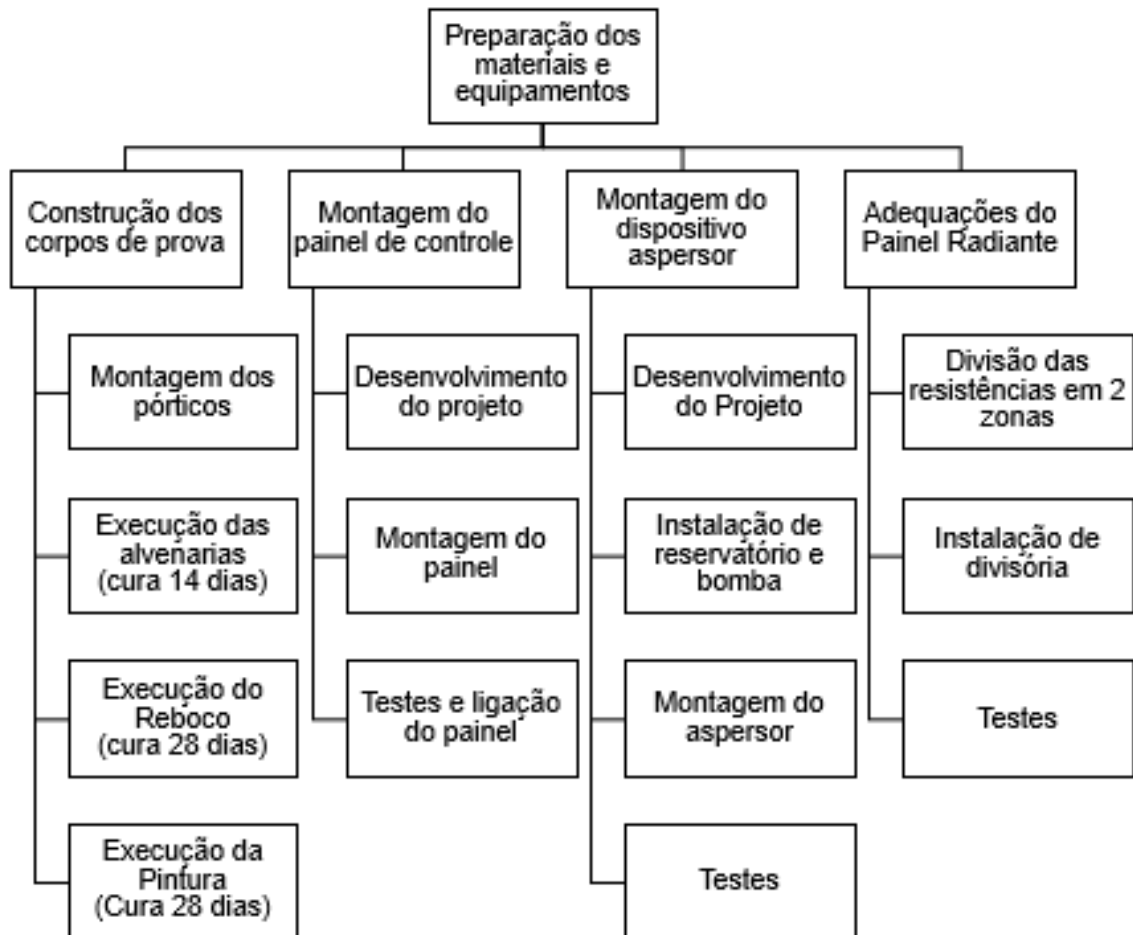
Figura 9 - Planejamento inicial da pesquisa.



Fonte: Autor (2019).

O planejamento para a realização da fase experimental desta pesquisa contempla além da programação das atividades, a definição da metodologia executiva, dos equipamentos utilizados, bem como das especificações dos materiais empregados, conforme detalhado nos itens a seguir e esquematizado na Figura 10.

Figura 10 - Planejamento da preparação dos materiais e equipamentos.



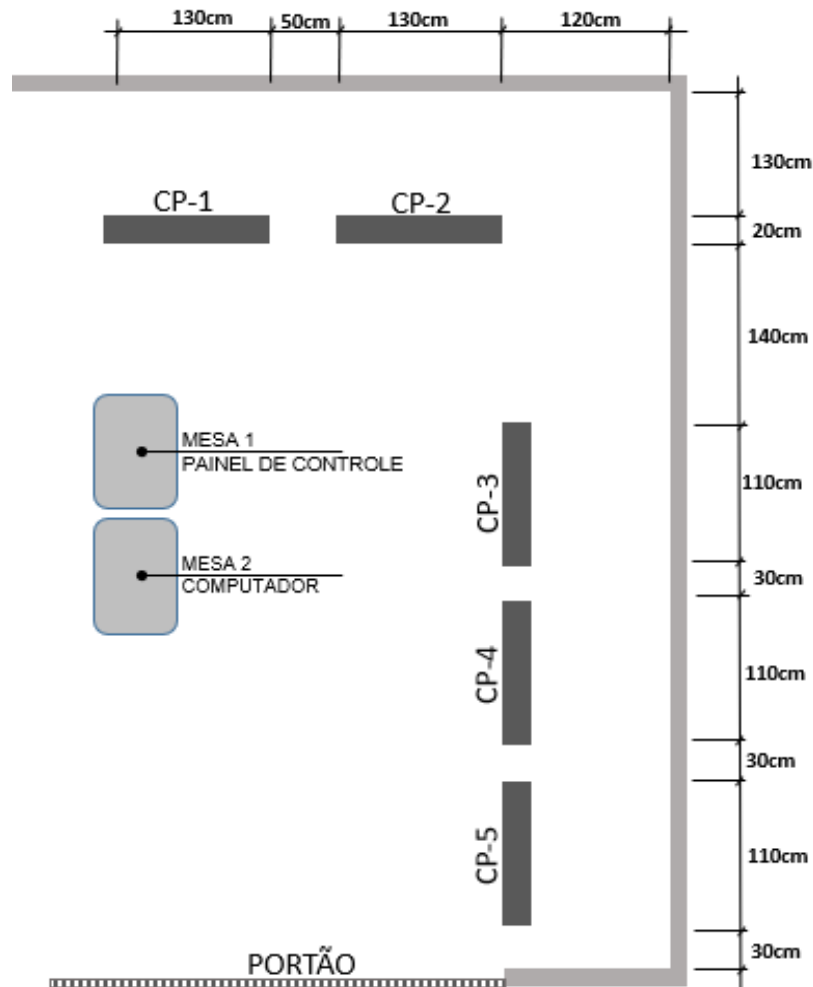
Fonte: Autor (2019).

3.2.1 Espaço físico

O espaço escolhido para realização dos ensaios de laboratório, está localizado no subsolo do Prédio 18, do Campus 2 do CEFET/MG onde funciona o Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Este local foi preparado para a montagem do laboratório, com espaço suficiente para abrigar os equipamentos e corpos de prova.

O *lay out* para a montagem dos corpos de prova e definição da localização dos equipamentos, no laboratório, foi projetado com objetivo de otimizar o espaço, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Lay out dos corpos de prova no laboratório



Fonte: Autor (2019).

O laboratório onde os ensaios foram realizados é provido de pé direito duplo e de janelas de vidro em nas laterais esquerda e direita, no entanto, durante a realização dos ensaios, as mesmas foram mantidas fechadas, assim como o portão de acesso, a fim de reduzir variáveis que poderiam ser influenciadas pela ação dos ventos, principalmente no momento dos registros das temperaturas das superfícies dos corpos de prova por meio de fotografias térmicas.

3.2.2 Estudo inicial sobre o tema

Concomitante com as providências de adequação do espaço físico, realizou-se um estudo inicial sobre o tema, por meio da análise da norma de desempenho, a ABNT NBR 15.575, de forma pontual sobre os critérios estabelecidos como aceitáveis para o atendimento ao requisito “Durabilidade” dos Sistemas de Vedações Verticais Externos. Este estudo prévio propiciou a visão crítica durante o levantamento bibliográfico e leitura de publicações de diversos trabalhos desenvolvidos sobre esta temática. Facilitou também a compreensão dos questionamentos em relação às lacunas existentes no texto da norma e o entendimento das proposições de melhorias apontadas pelos autores pesquisados, quanto à aplicabilidade do método de ensaio de ação de calor e choque térmico, da forma como é prescrito pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

Os corpos de prova, assim como os materiais, equipamentos e procedimentos executivos adotados para o desenvolvimento dos experimentos da presente pesquisa, para que os seus objetivos fossem alcançados, estão descritos nos itens seguintes neste capítulo.

3.2.3 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados para confecção dos corpos de prova foram definidos de forma a representar o sistema de vedação vertical externo utilizado em grande escala nas edificações brasileiras: alvenaria em bloco cerâmico, com revestimento em argamassa e acabamento em pintura acrílica. Para isso foram especificados insumos de fácil aquisição no mercado, que serão caracterizados nos itens seguintes.

3.2.3.1 Blocos

Os corpos de prova foram construídos com blocos cerâmicos de vedação, dimensões de 14x19x29cm, com 12 furos horizontais, adquiridos de um mesmo lote de fabricação. Os blocos cerâmicos foram avaliados quanto ao atendimento aos requisitos da NBR 15.270:2005 (ABNT, 2005), compreendendo os ensaios de resistência à compressão, absorção de água e verificação de suas características geométricas. A Figura 12 apresenta 7 blocos cerâmicos, das 13 amostras utilizadas para os ensaios de caracterização.

Figura 12 - Blocos cerâmicos



Fonte: Autor (2019).

A resistência à compressão dos blocos cerâmicos foi determinada conforme NBR 15.270:2005 (ABNT, 2005), obtendo o valor médio de 1,66 MPa, conforme apresentado na Tabela 3, superior ao limite mínimo estabelecido pela norma de 1,5MPa para os blocos cerâmicos de vedação com furos horizontais.

Tabela 3 - Resistência à compressão dos blocos cerâmicos

Amostra	Tensão Máxima (MPa)
1	1,60
2	1,70
3	1,35
4	1,86
5	1,52
6	1,73
7	1,47
8	1,54
9	1,71
10	1,48
11	1,81
12	2,20
13	1,57
Média	1,664
Desvio padrão	0,219
Coef. Variação	13,16%

Fonte: Autor (2019).

Quanto às suas dimensões, os blocos apresentaram distorções nas dimensões, porém, dentro dos limites de tolerância estabelecidos pela NBR 15.270:2005, $\pm 5\text{mm}$ para cada amostra individual e $\pm 3\text{mm}$ para a média. Quanto as espessuras dos

septos, todas as amostras apresentaram valores superiores ao estabelecido pela NBR 15.270:2005 (ABNT, 2005): 6mm para os septos internos e 7mm para os externos.

Os blocos também apresentaram distorções quanto a planeza e esquadro, no entanto, dentro dos limites estabelecidos pela norma. Quanto ao índice médio de absorção de água dos blocos, de 15,33%, apresentou-se dentro do limite estabelecido pela NBR 15.270:2005 (ABNT, 2005), conforme pode ser observado na Tabela 4. Os valores obtidos para cada amostra, durante os ensaios de caracterização dos blocos, apresentam-se no Apêndice A.

Tabela 4 - Absorção de água dos blocos cerâmicos

Amostras	Massa Seca (Kg)	Massa Úmida (Kg)	Absorção (AA)	NBR 15270:2005
A	6,02	7,16	15,92%	8% a 22%
B	6,02	7,14	15,69%	
C	6,10	7,14	14,57%	
D	6,08	7,22	15,79%	
E	6,02	7,10	15,21%	
F	6,10	7,16	14,80%	
Média	6,06	7,15	15,33%	
Desvio padrão	0,04	0,04	0,56%	
Coef. Variação	0,66%	0,56%	3,65%	

Fonte: Autor (2019).

3.2.3.2 Argamassas

Para a moldagem das paredes, foram utilizadas argamassas industrializadas para a confecção dos corpos de prova, com exceção do encunhamento. Esta definição visou a redução de variáveis relacionadas às propriedades dos insumos como areia e cimento, além da influência da mão de obra na preparação das misturas, considerando que produtos industrializados detêm controles mais rigorosos no processo de fabricação.

3.2.3.2.1 Argamassa de assentamento

Para o assentamento dos blocos cerâmicos foi utilizada a argamassa industrializada tipo Múltiplo uso, fabricada pela PRECON, em junho/2018, com características apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características da Argamassa Múltiplo Uso (Ensaio de fábrica)

Características			Parâmetros Normativos NBR 13281:2005
Índice retenção de água	86%	(NBR 13277:2005)	80 a 90%
Teor de ar incorporado	17%	(NBR13278:2005)	18 +/- 3%
Resistência à compressão	4,18 MPa	(NBR 13279:2005)	4 a 6,5 MPa
Resistência à tração na flexão	1,88 MPa	(NBR 13279:2005)	1,5 a 2,7 MPa

Fonte: PRECON (2018)

Seguindo orientações do fabricante, foram adicionados 7 litros de água a cada 40kg de argamassa. O ensaio de resistência à compressão simples da argamassa de assentamento, foi realizado com a extração de amostras durante a execução do assentamento dos blocos cerâmicos. O rompimento dos corpos de prova foi realizado aos 28 dias, no laboratório do CEFET, obtendo a resistência média de 4,37MPa, conforme apresentado na Tabela 6, acima da resistência mínima informada pelo fabricante.

Tabela 6 - Resistência à compressão da argamassa de assentamento

Amostra	Tensão Máxima (MPa)
CP 1	4,36
CP 2	4,30
CP 3	4,42
CP 4	4,40
Média	4,37
Desvio padrão	0,0517
Coef. Variação	1,18%

Fonte: Autor (2019).

3.2.3.2.2 Argamassa de Encunhamento

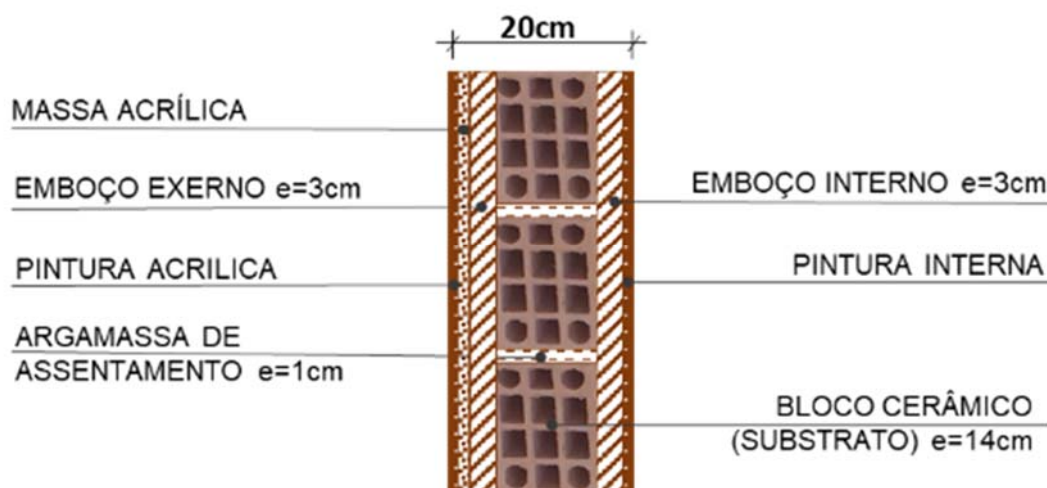
A argamassa para o encunhamento das alvenarias foi confeccionada no local, com utilização de areia, cimento e aditivo expensor Vedacit. Foi adotado o traço volumétrico da argamassa de 1:1 (cimento e areia), com adição em massa de aditivo na proporção de 1% da massa de cimento, conforme recomendação do fabricante. A fim de preencher o espaço que ficou entre a última fiada da alvenaria e o perfil metálico, foram inseridos blocos cerâmicos de forma transversal e inclinada. O uso do aditivo expensor permite que a argamassa possa expandir e melhora a qualidade da vedação, evitando o surgimento de fissuras.

3.2.3.2.3 Argamassa de revestimento

Para execução do emboço projetado, foi utilizada argamassa industrializada apropriada para a metodologia executiva por projeção mecânica, de fabricação PRECON, sendo necessária apenas a adição de água na mistura para aplicação.

A Figura 13 apresenta o croqui com a espessura total dos corpos de prova e dos revestimentos.

Figura 13 - Espessura total dos corpos de prova



Fonte: Autor (2019).

Na mistura da argamassa foram adicionados aproximadamente 6,8 a 7,6 litros de água para cada saco de 40 kg de argamassa, conforme orientação do fabricante. Como o preparo da mistura foi feito no próprio equipamento de projeção, a adição de água à argamassa seca foi dosada até chegar ao ponto de consistência para a projeção.

Na Tabela 7 são apresentadas as características das argamassas utilizadas, fabricadas pela PRECON em junho/2018.

Tabela 7 - Características da Argamassa de Projeção (Ensaio de fábrica)

Características			Parâmetros Normativos NBR 13281:2005
Índice retenção de água	85%	(NBR 13277:2005)	80 a 90%
Teor de ar incorporado	22%	(NBR13278:2005)	18 +/- 3%
Resistência à compressão	5,10 MPa	(NBR 13279:2005)	4 a 6,5 MPa
Resistência à tração na flexão	2,24 MPa	(NBR 13279:2005)	1,5 a 2,7 MPa

Fonte: PRECON (2018)

Durante a execução do revestimento de argamassa, foram retiradas 4 amostras e realizado o ensaio no laboratório do CEFET, para verificação da resistência à compressão da argamassa utilizada. Conforme apresentado na Tabela 8, o valor médio da resistência a compressão (3,97MPa) ficou diferente do valor de referência de fábrica (5,10 MPa) e um pouco abaixo do limite normativo (4,0 MPa).

Tabela 8 - Resistência à compressão da argamassa de revestimento

Amostra	Tensão Máxima (MPa)
CP 1	3,95
CP 2	4,10
CP 3	3,96
CP 4	3,87
Média	3,97
Desvio padrão	0,0966
Coef. Variação	2,43%

Fonte: Autor (2019).

3.2.3.2.4 Sistema de pintura

Para a representação de um sistema de vedação acabado, as superfícies dos corpos de prova foram pintadas na face interna com tinta acrílica sobre emboço e na face externa foi aplicada massa acrílica sobre o emboço e como acabamento final, aplicação de tinta acrílica própria para fachadas.

Este acabamento em pintura foi escolhido para facilitar a visualização de possíveis falhas que poderiam ocorrer na superfície dos corpos de prova, durante a realização dos ensaios, além de representar o acabamento comum das fachadas das edificações brasileiras.

Os pórticos metálicos foram pintados com tinta esmalte para proteção contra ferrugem. As especificações dos materiais utilizados no sistema de pintura encontram-se no Quadro 4.

Quadro 4 - Especificações dos materiais de pintura

Material	Normas	Aplicação	Tempo de secagem (2 a 3 demãos)	Composição
Tinta acrílica fosco completo Premium Branco Gelo	ABNT NBR 11702:2010 e ABNT NBR 15079:2011	Superfícies externas e internas de reboco, massa acrílica, texturas, concreto, entre outras.	Ao toque: 2 horas Entre demãos: 4 horas Final: 12 horas	Água, resina à base de dispersão aquosa de copolímeros estireno-acrílico, aditivos, pigmentos isentos de metais pesados, cargas minerais, glicóis espessantes, tensoativos, fungicida e bactericida à base de isotiazolinonas
Massa acrílica construções cor branca	ABNT NBR 11702:2010	Nivelar e corrigir imperfeições rasas de superfícies externas de reboco, gesso, massa fina, fibrocimento, entre outras.	Ao toque: 1 hora Entre demãos: 1 horas Final: 4 horas	Resina à base de dispersão aquosa de copolímero estireno acrílico, cargas minerais inertes e aditivos.
Tinta esmalte Cor & Proteção Grafite Premium Fosco	ABNT NBR 11702:2010	Indicado para superfícies de madeira, ferro, alumínio e galvanizados.	Entre demãos: mínimo 45 minutos Ao toque: 2 horas Final: 5 horas.	Resina alquídica à base de óleo vegetal semissecativo, resina fenólica para cor alumínio, pigmentos orgânicos e inorgânicos, cargas minerais inertes, secantes organometálicos, 1,2,4-trimetilbenzeno, butanona-oxima, xileno, aguarrás, querosene, bis(2-etil-hexanoato) de cobalto, etilbenzeno; cumeno.x

Fonte: Suvinil (2018)

3.2.4 Construção dos corpos de prova

Para o desenvolvimento dos experimentos foram utilizados 05 corpos de prova em alvenaria de bloco cerâmico, com as mesmas características técnicas, porém com dimensões distintas, para avaliar a influência da altura dos corpos de prova no resultado final. Conforme apresentado no Quadro 5, dois corpos de prova (CP-1 e CP-2) com dimensões internas de 120x240cm e três (CP-3, CP-4 e CP-5) com dimensões de 100x100cm, todos com espessura final de 20cm.

Quadro 5 - Dimensões dos corpos de prova

Corpos de Prova	Dimensões externas (considerando o pórtico)	Dimensões Internas	Área Útil (parede)	Espessura Final SVVE
CP1	130 x 265cm	120 x 240cm	2,88m ²	20cm
CP2	130 x 265cm	120 x 240cm	2,88m ²	20cm
CP3	110 x 125cm	100 x 100cm	1,00m ²	20cm
CP4	110 x 125cm	100 x 100cm	1,00m ²	20cm
CP5	110 x 125cm	100 x 100cm	1,00m ²	20cm

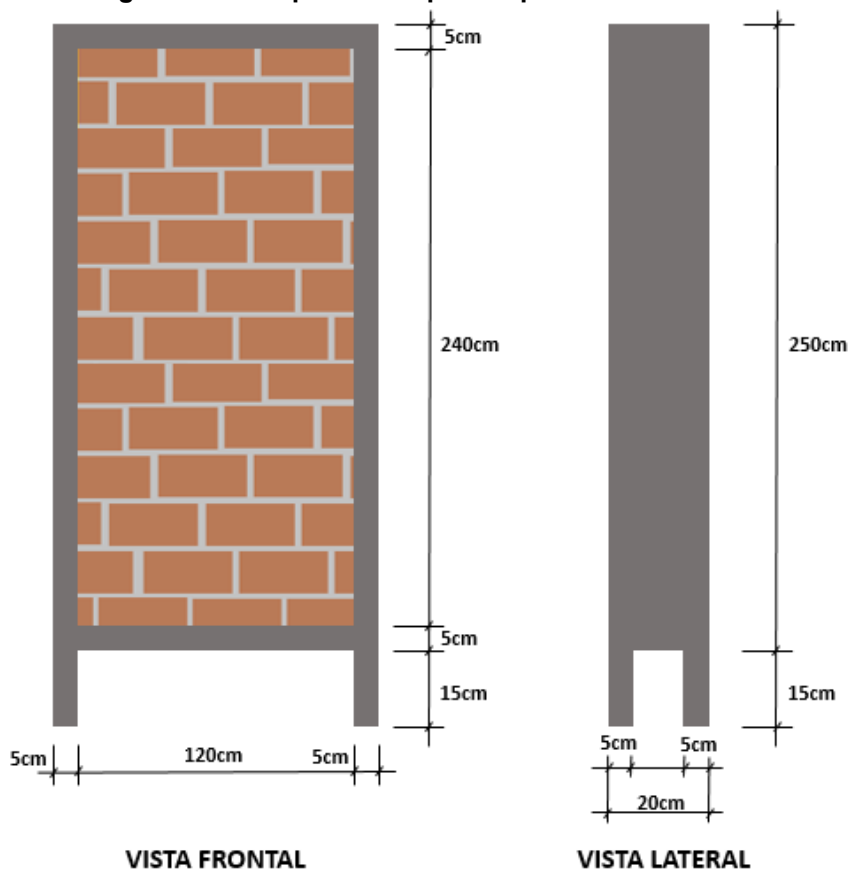
Fonte: Autor (2019).

Os corpos de prova CP1, CP2, CP3 e CP4 foram submetidos aos ensaios de exposição de ação de calor e choque térmico. O corpo de prova CP5 foi utilizado como referência e não foi submetido aos ensaios de choque térmico, destinou-se à retirada das amostras para o ensaio de aderência, para verificação da resistência de aderência à tração dos revestimentos antes da exposição aos ciclos térmicos.

Todos os corpos de prova foram executados dentro de pórticos, montados em perfis metálicos conforme apresentado na Figura 14 e na Figura 15. Os perfis utilizados são do tipo “U” em aço, com dimensões de 200x50mm. Os pórticos foram executados com espaçamento de 15 cm do piso, para que as alvenarias não tenham contato com o mesmo, evitando assim possíveis infiltrações de umidade por capilaridade, que poderiam ocorrer com o acúmulo de água no piso durante aspersão para o resfriamento da superfície do corpo de prova.

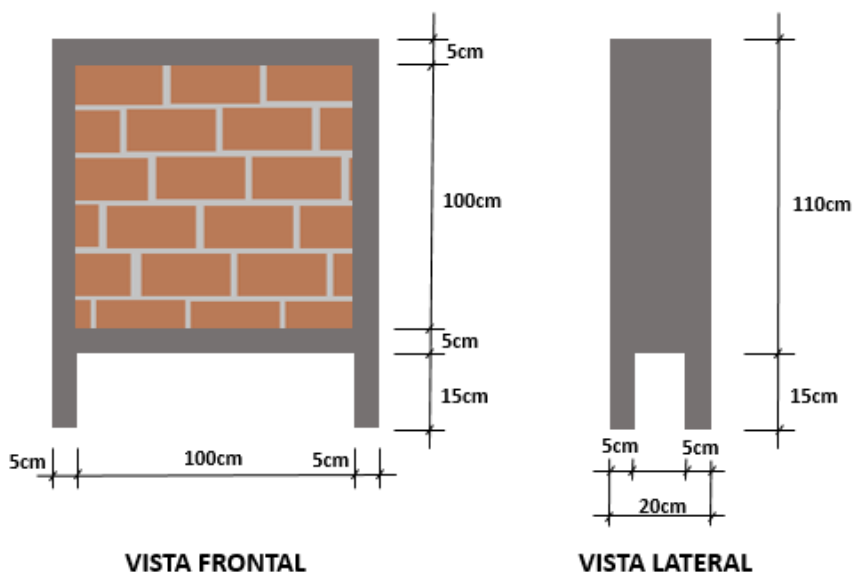
Estas condições de contorno adotadas para os corpos de prova representam a realidade dos sistemas de vedações verticais externos, uma vez que os mesmos normalmente estão inseridos em estrutura para seu devido travamento, quer seja metálica ou em concreto.

Figura 14 - Croqui dos corpos de prova CP1 e CP2



Fonte: Autor (2019).

Figura 15 - Croqui dos corpos de prova CP3, CP4 e CP5



Fonte: Autor (2019).

As alvenarias de vedação foram executadas com espessura de 14cm, com bloco cerâmico de vedação com dimensões de 14 x 19 x 29 cm com 12 furos verticais, e juntas entre os blocos com espessura de 10mm.

Os corpos de prova foram executados com espessura total de 20cm, incluindo os revestimentos nas duas faces, receberam acabamento final em pintura com tinta acrílica sobre o emboço do lado interno e pintura acrílica sobre massa acrílica na face externa.

A fim de reduzir as variáveis sobre os resultados dos ensaios, principalmente quanto a aderência e resistência dos revestimentos, o assentamento dos blocos cerâmicos, assim como o emboço, foram executados com utilização de argamassas industrializadas, próprias para cada aplicação. Desta forma, procurou-se evitar a variabilidade das propriedades dos materiais como, por exemplo, a areia, que poderia influenciar no desempenho dos revestimentos. O encunhamento foi executado com argamassa mista de cimento e areia, no traço de 1:1, com aditivo expensor.

Os corpos de prova não receberam chapisco em nenhuma das faces, a fim de testar e avaliar a técnica construtiva de projeção mecânica da argamassa, que vem sendo utilizada pelos construtores nas obras.

3.2.5 Montagem dos equipamentos elétricos e de controle

Para a realização dos experimentos, além do painel radiante, foram necessários equipamentos e dispositivos que possibilitassem o controle da temperatura, de forma a atender as recomendações do Anexo E da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d). Apesar da montagem destes equipamentos ter como foco o seu desempenho, também foi dada atenção às questões de segurança e manuseabilidade de operação dos mesmos durante a realização dos ensaios.

3.2.5.1 Painel de controle

O painel de controle foi desenvolvido com apoio do Departamento de Eletrônica e Biomédica do CEFET. O projeto do painel de controle foi elaborado por Ribas (2018) durante as atividades de iniciação tecnológica desenvolvidas na presente pesquisa e encontra-se no Apêndice B.

Para manter a temperatura da superfície do corpo de prova em $80\pm 3^{\circ}\text{C}$, conforme estabelecido pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), este painel teve como principal função o controle da temperatura, além do registro dos dados coletados.

Neste painel todos os equipamentos ficaram protegidos, de forma a evitar a exposição de fios energizados e montagens e conexões de cabos no momento de execução dos ensaios. Para isso foram instalados três conectores, sendo um para a energização do painel, um para ligação ao painel radiante e outro para conexão dos termopares.

O painel foi dividido em duas partes, com funções distintas, por meio de um circuito de comando (DJ2) e um circuito de carga (DJ1). O disjuntor DJ1 é responsável pela segurança do circuito de potência e o disjuntor DJ2 ligado ao circuito de comando, controla a temperatura através do acionamento dos controladores por meio de chave do tipo liga-desliga, posicionado na tampa do painel de controle. Como medida de segurança, o painel foi dotado de três sinaleiros: um indicando que o circuito de comando se encontra energizado (LP2/GERAL) e um para cada um dos ramos do circuito de carga, indicando a sua energização através dos respectivos controladores (LP1/TC1-ON e LP3/TC2-ON). O circuito de carga só pode ser energizado se o circuito de comando estiver energizado. Vide apêndice B2.

Além disso, os dois controladores recebiam os sinais dos termopares que controlavam a temperatura em $80\pm 3^{\circ}\text{C}$. Um controlador foi ligado ao termopar

posicionado na zona inferior de aquecimento e o outro na zona superior. A descrição dos principais equipamentos utilizados nesta montagem encontram-se no Quadro 6.

Quadro 6 - Principais componentes do painel de controle

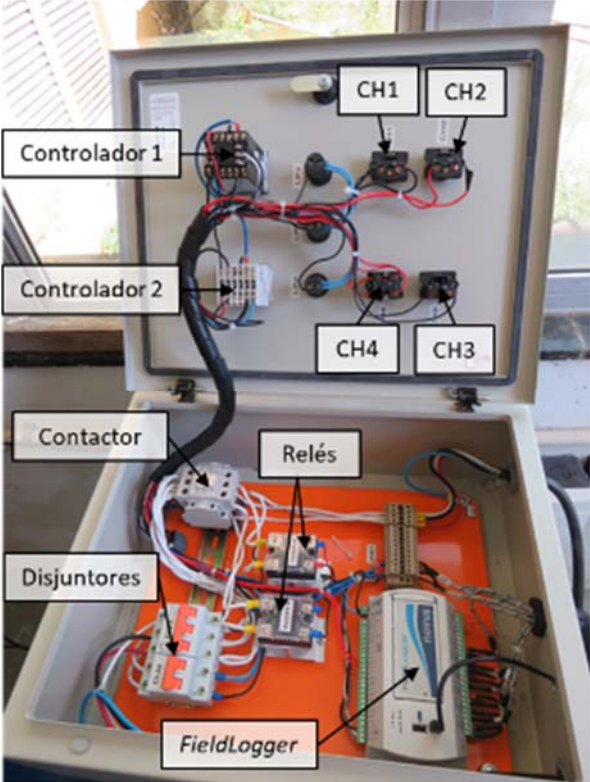
Componentes	Função
<i>Field Logger Novus</i>	Realizar a aquisição e armazenamento de dados
Controlador 1 – N1100 <i>Novus</i>	Controlar a temperatura da zona inferior do painel
Controlador 2 - <i>Autonic</i>	Controlar a temperatura da zona superior do painel
Relés SSR	Permitir a energização ou não das resistências
Painel metálico 50x50x20cm	Abrigar todos os componentes

Fonte: Autor (2019).

Os controladores enviavam os sinais recebidos pelos termopares, que alimentavam os relés de estado sólido (SSR). Assim, os relés enviavam correntes de energia para as resistências, para que ocorresse o aquecimento até a temperatura desejada. Esta temperatura foi monitorada pelos termopares e controladores para que mantivessem dentro da faixa de 77°C a 83°C. Os relés utilizados, modelo SSR-4825, possuem capacidade 25 A, 40 a 480 VCA, e tensão de comando de 3 a 32 VCC.

A segurança do circuito de alimentação do painel radiante foi feita por meio do disjuntor tripolar e contactor de 40A (DJ1) que podem ser visualizados na Figura 16.

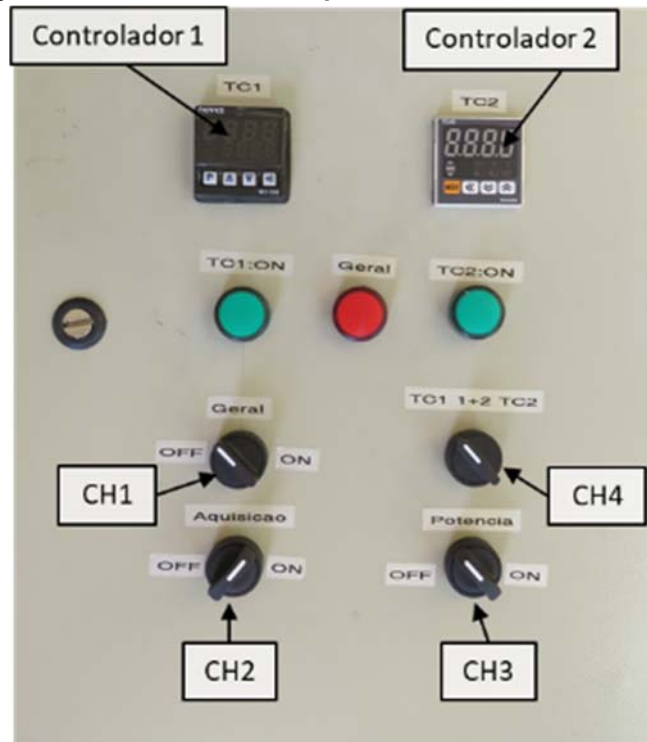
Figura 16 - Vista interna do painel de comando e controle



Fonte: Autor (2019).

Os demais componentes internos do painel de comando, instalados em sua tampa, apresentam-se na vista externa da Figura 17.

Figura 17 - Vista externa do painel de comando e controle



Fonte: Autor (2019).

É possível desativar o circuito de carga de três maneiras: através da chave CH1/GERAL (posição OFF, o que desenergiza simultaneamente ambos os circuitos, de carga e de comando), através da chave CH3/POTÊNCIA (posição OFF, que desenergiza apenas o circuito de carga) e através do disjuntor tripolar (o que requer a abertura do painel, e é uma opção técnica para manutenção elétrica, não recomendável para o usuário final como medida de emergência).

Em caso de emergência, recomenda-se ao usuário desligar o sistema através de CH1. A opção por desenergizar apenas o circuito de carga com CH3 é recomendada quando se pretende alterar parâmetros dos controladores.

Outro mecanismo de segurança implementado nesse painel foi a desenergização do circuito de carga quando qualquer um dos controladores detecta uma temperatura acima de 90°C. Uma vez que as temperaturas indicadas pelos controladores caiam abaixo de 90°C, o circuito de carga volta a funcionar novamente.

As funções das chaves de comando do painel radiante (CH1, CH2, CH3 e CH4) são apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Chaves de comando do painel radiante

Chave	Descrição	Função
CH1	Chave liga/desliga geral	Ligar/desligar o painel.
CH2	Chave liga/desliga aquisição	Ligar/desligar a aquisição de dados do registrador.
CH3	Chave liga/desliga	Habilitar as resistências.
CH4	Chave seletora de três posições	Selecionar a zona a controlar (inferior, superior ou ambas).

Fonte: Autor (2019).

Dentro do painel de controle foi instalado um equipamento de aquisição e armazenamento de dados, com capacidade para 8 conexões analógicas, ou seja, podem ser conectados até 8 termopares. Além do acompanhamento em tempo real da leitura das temperaturas pelos termopares, os dados armazenados foram transferidos para o computador através de conexão USB, exportados em forma de relatório, tabelas ou gráficos, conforme observa-se na Figura 18.

Figura 18 - Painel de controle e computador



Fonte: Autor (2019).

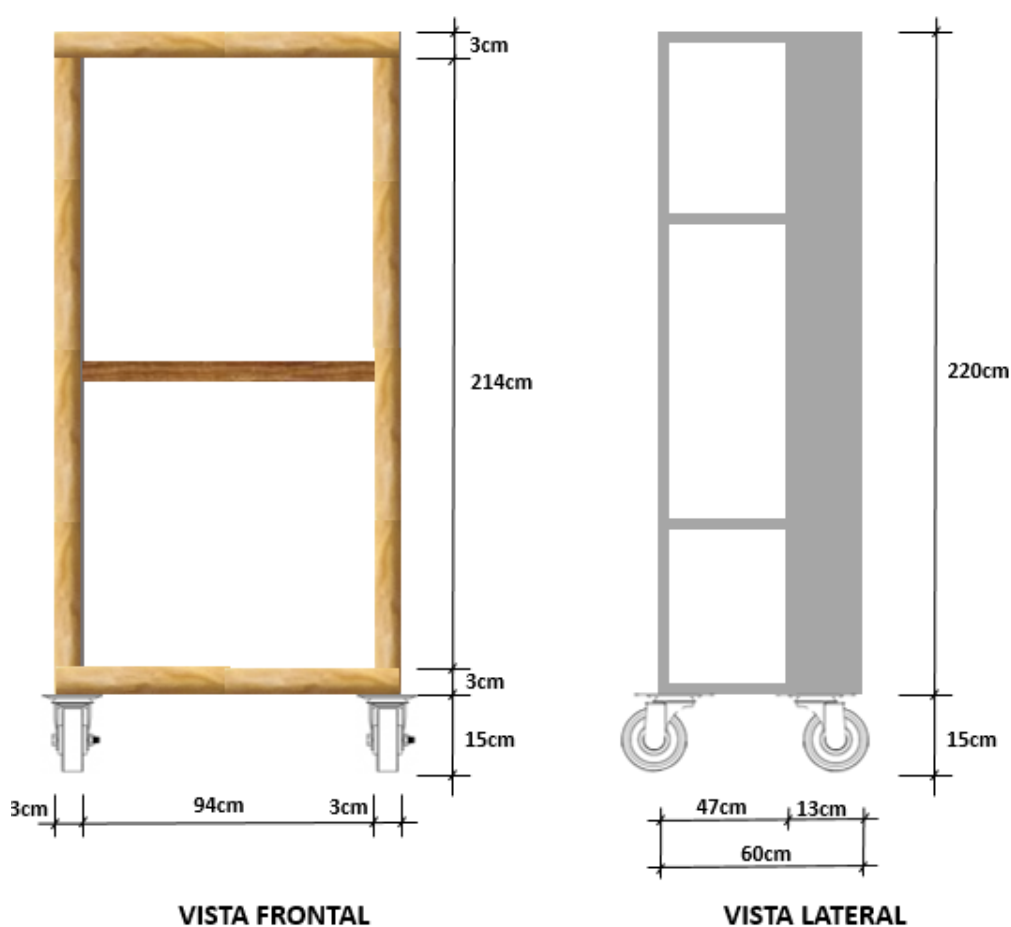
3.2.5.2 Painel radiante

O painel radiante utilizado para o aquecimento das paredes foi construído previamente a esta pesquisa, montado em uma caixa em chapa de aço dupla com isolamento térmico interno em lã de vidro, dotado de 4 resistências elétricas em aço inoxidável.

Este painel tem dimensões de 100x220cm, conforme apresentado na Figura 19. Para utilizá-lo tanto para o aquecimento dos corpos de prova com altura de 240cm como para os mais baixos (100cm), foi necessária a instalação de divisória física com espessura de 4cm, que separou o painel em duas zonas de aquecimento.

Assim, para o aquecimento dos corpos de prova com altura de 100cm, durante a realização do ensaio de ação de calor e choque térmico, instalou-se a divisória isolante e foram ligadas apenas as resistências da zona inferior.

Figura 19 - Croqui do Painel Radiante



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 20 observa-se o painel radiante de frente, com a divisória física (a) e encostado no corpo de prova CP3 com altura de 1,25m durante a fase de aquecimento em um ciclo térmico. Na Figura 21 observa-se o painel radiante de frente, sem a divisória física (a) e encostado no CP 01 também durante um ciclo térmico.

Figura 20 - Painel radiante com divisória entre zonas



a) Painel com divisória (b) Painel encostado no CP3
Fonte: Autor (2019).

Figura 21 - Painel radiante sem divisória entre zonas



(a) Painel sem divisória (b) Painel encostado no CP1
Fonte: Autor (2019).

Para melhorar a uniformidade da temperatura sobre a superfície do corpo de prova, foram instalados ventiladores dentro do painel, entre as resistências, conforme

observa-se na Figura 22. Para facilitar a locomoção do painel radiante foram instalados 04 rodízios com diâmetro de 10cm, dotados de travas que evitaram a movimentação do painel durante o aquecimento, conforme detalhe da Figura 23.

Figura 22 - Ventiladores



Fonte: Autor (2019).

Figura 23 - Rodízios do painel



Fonte: Autor (2019).

3.2.5.3 Termopares

Foram utilizados termopares do tipo J, conforme apresentado na Figura 24, para captar e monitorar a temperatura superficial das paredes, durante os ensaios.

Figura 24 - Termopares tipo J



Fonte: Autor (2019).

3.2.6 Deslocamento horizontal

O deslocamento horizontal dos corpos de prova em seu plano perpendicular, foi medido com a utilização de um transdutor retilíneo de posição. O transdutor foi fixado em um suporte metálico, conforme apresentado na Figura 25, que permitiu o ajuste do seu posicionamento em relação à altura do corpo de prova, de forma a impedir o seu movimento para que fosse registrado apenas o deslocamento da parede.

Figura 25 - Suporte para fixação do transdutor



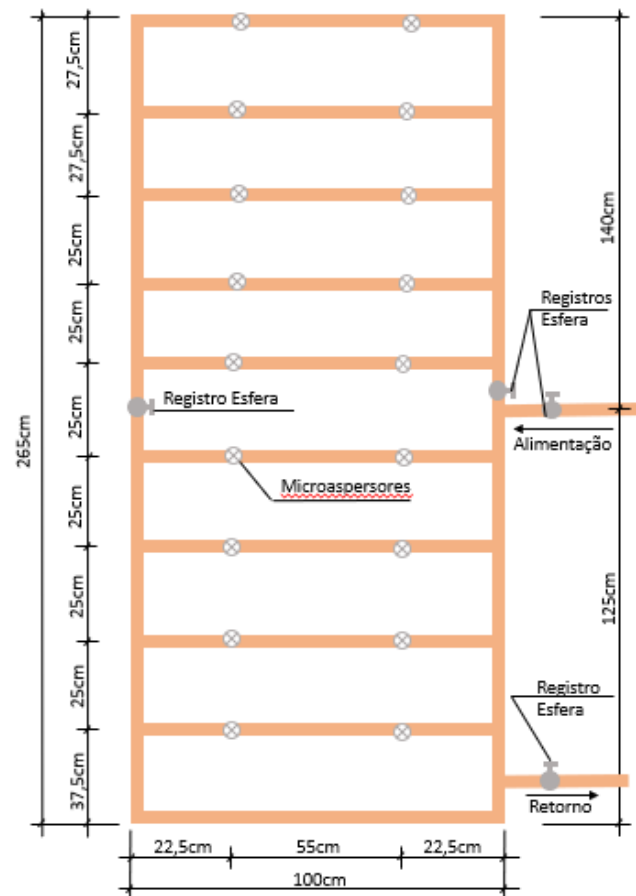
Fonte: Autor (2019).

3.2.7 Construção do sistema de resfriamento

O resfriamento da superfície dos corpos de prova, tanto para os ensaios realizados em laboratório como em campo, foi efetuado por meio de um dispositivo de aspersão, que simulou a ação da chuva por meio de jatos de água.

Este dispositivo foi construído com tubulações e conexões de PVC soldável, conforme croqui apresentado na Figura 26, dotado de registros que possibilitaram a utilização do mesmo equipamento para as duas diferentes dimensões de corpos de prova utilizados nesta pesquisa. A Figura 27 apresenta o dispositivo de aspersão montado, durante o resfriamento do corpo de prova CP1.

Figura 26 - Croqui do dispositivo de aspersão



Fonte: Autor (2019).

Figura 27 - Dispositivo de aspersão montado

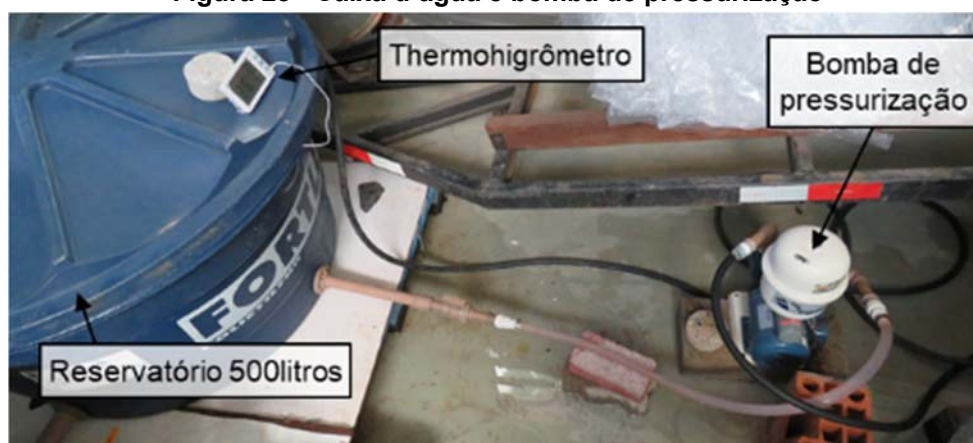


Fonte: Autor (2019).

Para garantir a aspersão de água com pressão e vazão suficiente para realizar o resfriamento, foi instalado um sistema de bombeamento em um reservatório de água com capacidade para 500 litros, apresentados na Figura 28. A bomba de pressurização tem potência de 1/4HP Modelo PA140 da Equibrás.

Os jatos de água para simulação da chuva foram realizados através de bicos do tipo microaspersores.

Figura 28 - Caixa d'água e bomba de pressurização



Fonte: Autor (2019).

A temperatura da água dentro do reservatório foi verificada por meio de termohigrômetro, que indicava também a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar, conforme indicado na Figura 29.

Figura 29 - Termohigrômetro

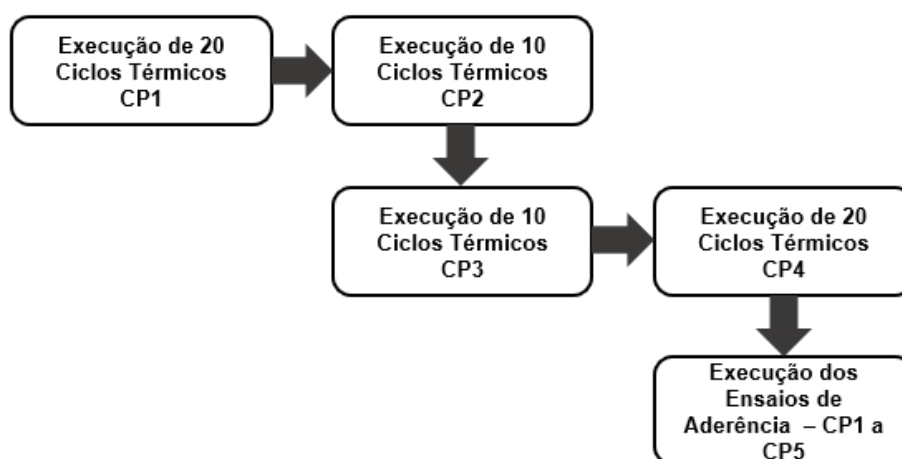


Fonte: Autor (2019).

3.2.8 Procedimentos dos ensaios

Após a confecção dos corpos de prova e preparação dos equipamentos, foram iniciados os experimentos para verificação do comportamento de SVVE exposto à ação de calor e choque térmico, conforme método recomendado pela NBR 15.575:2013-4 (ABNT, 2013d), com o objetivo de verificar o desempenho destes sistemas quanto ao requisito durabilidade. A Figura 30 apresenta o sequenciamento de execução dos ensaios.

Figura 30 - Sequenciamento de execução dos ensaios



Fonte: Autor (2019).

A fim de complementar os critérios de avaliação da verificação do comportamento de SVVE, foram realizados também ensaios de aderência para verificação da resistência de aderência à tração dos revestimentos, antes e após a exposição aos ciclos térmicos. Assim, foi também avaliado o efeito que a ação de calor e choque térmico pode causar aos SVVE.

Os furos para a execução dos ensaios de aderência foram realizados após o término dos ciclos térmicos de todos os corpos de prova. O corpo de prova CP05 não foi submetido aos ciclos térmicos e serviu como referência para a resistência de aderência à tração dos revestimentos em argamassa, antes do choque térmico.

3.2.8.1 Ensaio de ciclos térmicos

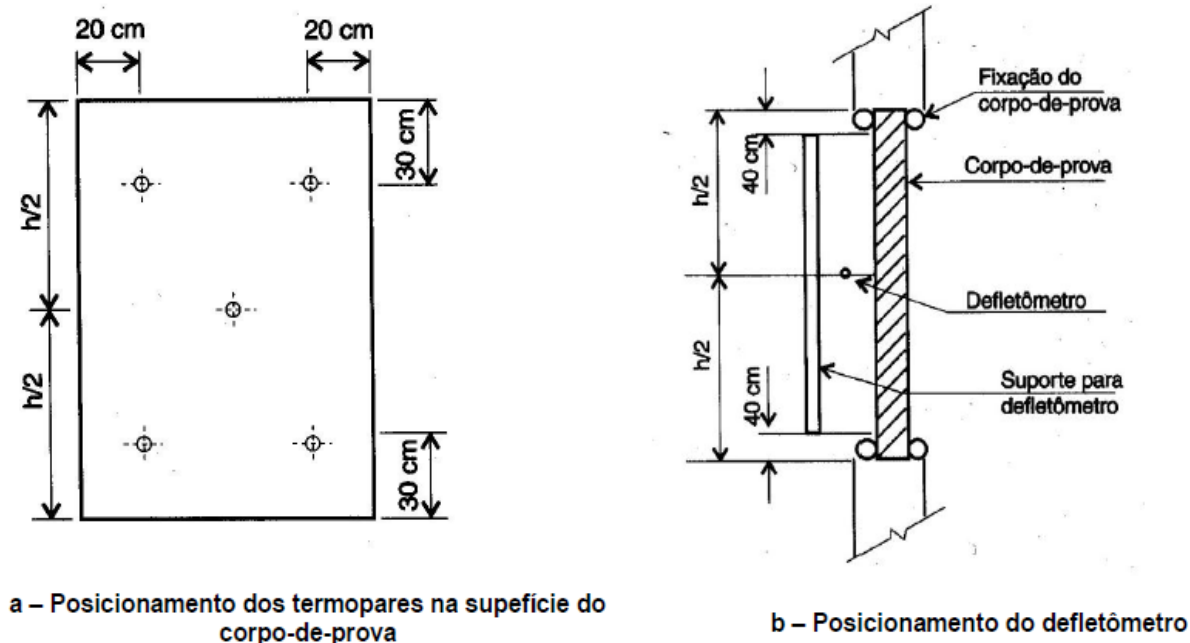
O método de ensaio para verificação do comportamento de SVVE exposto à ação de calor e choque térmico prescrito no Anexo E da NBR 15.575-4:2013 (ABNT,

2013d), objetiva avaliar se as paredes externas atendem aos requisitos mínimos de desempenho quanto a sua durabilidade.

O ensaio de ação de calor e choque térmico consiste, portanto, em submeter os corpos de prova a 10 ciclos sucessivos de calor proveniente de fonte radiante e resfriamento por meio de jatos de água (ABNT, 2013d).

Segundo a NBR 15.575:2013-4 (ABNT, 2013d) o ensaio deve ser realizado em no mínimo dois corpos de prova com extensão de $(1,20 \pm 0,20)$ m, fixados nas bordas inferiores e superiores, conforme apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Esquema de montagem e instrumentação do corpo de prova



Fonte: NBR 15.575:2013-4 (ABNT, 2013).

Os termopares devem ser posicionados na face externa da parede, que será exposta aos ciclos térmicos e o transdutor instalado ao centro da face oposta do corpo de prova, conforme apresentado na Figura 31.

Para a realização deste ensaio, a NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) em seu Anexo E, recomenda a utilização dos seguintes aparelhos:

- Painel radiante capaz de fornecer calor em quantidade tal que a face externa da parede atinja temperatura igual a $(80 \pm 3)^{\circ}\text{C}$.
- Dispositivo para aspersão de água sobre o corpo-de-prova em sua face externa.
- Termopares e registrador das temperaturas superficiais da parede.
- Defletômetro de haste, com resolução de 0,02 mm.

- Dispositivo para fixação do corpo-de-prova, de forma a deixá-lo simplesmente aparado em seus bordos inferior e superior.

Sobre o painel radiante, a norma não apresenta especificação detalhada para sua montagem, mas determina que o mesmo seja posicionado em frente ao corpo de prova, a uma distância tal que permita manter a temperatura da superfície da parede em $(80\pm3)^{\circ}\text{C}$.

Após posicionamento do painel radiante e estabilizada a temperatura em $(80\pm3)^{\circ}\text{C}$, esta deve se manter pelo intervalo de 1 hora, compreendendo a fase de aquecimento.

Em seguida o painel deve ser afastado e então aplicados os jatos de água para o resfriamento da superfície da parede até que atinja $(20\pm3)^{\circ}\text{C}$. Aferições quanto ao deslocamento horizontal do corpo de prova devem ser feitas aos 45 minutos após a estabilização da temperatura em $(80\pm3)^{\circ}\text{C}$ e ao final do resfriamento.

De acordo com a NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) as duas faces do corpo de prova devem ser observadas e registradas as ocorrências de modificações em seu comportamento, em relação a quaisquer falhas que surjam nos mesmos, durante o ensaio e ao seu final.

Os critérios de avaliação, para verificação do atendimento quanto ao requisito durabilidade dos SVVE, se limita ao deslocamento horizontal máximo de $h/300$, onde h corresponde à altura do corpo de prova e na identificação visual de ocorrências de falhas.

3.2.8.2 Ensaios de aderência

O método de ensaio para determinação da resistência à aderência dos revestimentos de paredes, em argamassas inorgânicas, está prescrito pela NBR 13.528:2010 (ABNT, 2010).

Segundo esta norma, a aderência é uma propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato e não somente da argamassa. Desta forma a avaliação deste ensaio não trata somente da resistência à tração da argamassa, mas sim da resistência de todo o sistema com o qual ela interage.

Os materiais, aparelhos e ferramentas utilizados para a realização do ensaio são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Aparelhagem e materiais para o ensaio de aderência

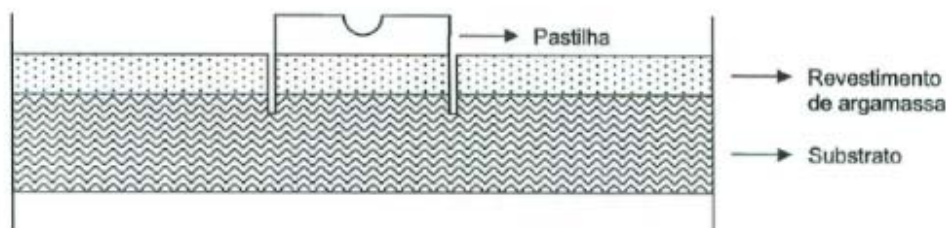
Componentes	Função
Dinamômetro de tração	Aplicar carga centrada e ortogonal ao plano do revestimento
Pastilha metálica, diâmetro: (50 ± 1) mm e espessura mínima: 10mm	Acoplar o revestimento ao dinamômetro
Dispositivo de corte (serra copo) diamantada	Executar o corte no revestimento para moldagem do corpo de prova
Paquímetro com resolução de 0,1mm	Medir a espessura dos revestimentos e do diâmetro do corpo de prova
Cola à base de resina epóxi, poliéster ou similar	Colagem da pastilha ao corpo de prova.
Material para sustentação das pastilhas	Evitar o deslocamento da pastilha durante o período de secagem da cola.

Fonte: Adaptado de NBR 13.528:2010 (ABNT, 2010).

O ensaio de aderência deve ser realizado em 12 corpos de prova com mesmas características, com idade mínima de 28 dias para os revestimentos com argamassa mista ou cimento e areia, de 56 dias para argamassas de cal e areia. Os corpos de prova devem ser distribuídos de forma aleatória com espaçamento mínimo de 50mm.

O procedimento executivo do ensaio de aderência, de acordo com a NBR 13.528:2010(ABNT, 2010), compreende as seguintes etapas:

- i. Execução do revestimento conforme projeto e especificação.
- ii. Distribuição dos corpos de prova no painel que será ensaiado.
- iii. Execução do corte: os furos são realizados com utilização da serra copo à seco ou com utilização de água e devem ser estendidos de 1mm a 5mm dentro do substrato ou da camada de revestimento que está em análise, conforme apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Delimitação do corpo de prova de revestimento pelo corte

Fonte: NBR 13.528:2010 (ABNT, 2010).

- iv. Colagem das pastilhas: a superfície deve estar limpa e a cola deve ser aplicada com camada uniforme sobre a pastilha com espessura máxima de 5mm.

- v. Execução do ensaio de umidade: Antes da extração dos corpos de prova, devem ser retiradas 3 amostras para determinação da umidade da área ensaiada. Logo após a extração destes 3 corpos de prova, os mesmos serão acondicionados em saco plástico devidamente selado para não ter contato com o ar. Em laboratório os corpos de prova serão mantidos em estufa a $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ até atingir massa constante. Após o resfriamento natural, os corpos de prova são pesados e então é feito o cálculo do teor de umidade em porcentagem de massa de cada unidade. O teor de umidade médio será a média entre os resultados das 3 amostras.
- vi. Execução do ensaio (arrancamento): O dinamômetro deve ser apoiado de forma perpendicular ao painel ou parede, para que o esforço de tração seja aplicado até a ruptura do corpo de prova. A carga (N) ou tensão de ruptura (MPa) deve ser anotada para cada corpo de prova ensaiado.
- vii. Coleta dos dados: Os dados devem ser registrados em planilhas apropriadas e comparados com os limites admissíveis pela NBR 13.749:2013 (ABNT, 2013g), conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada úmida

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

Fonte: NBR 13.749:2013 (ABNT, 2013g).

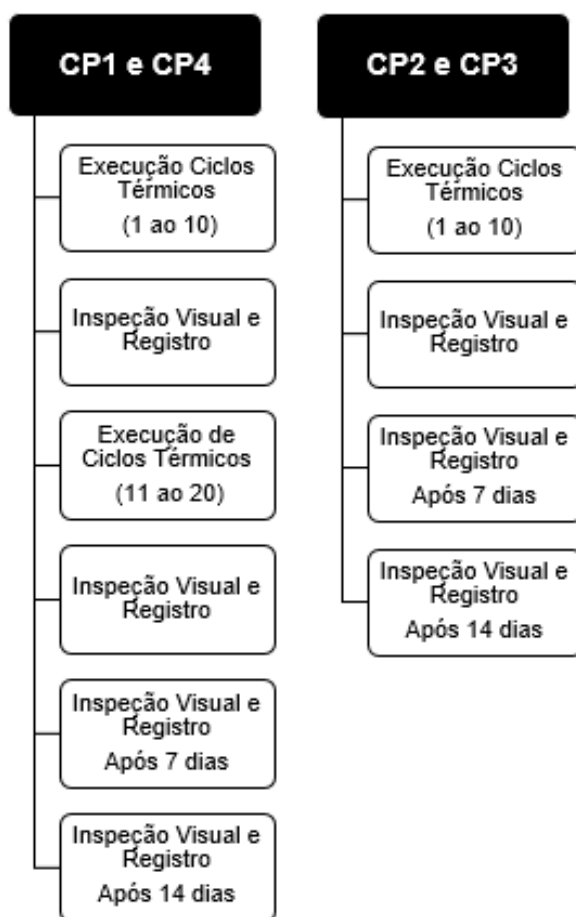
3.2.8.3 Inspeção visual

De acordo com NM 315:2017 (AMN, 2017) os ensaios para inspeções visuais podem ser diretos quando realizado a olho nu ou com auxílio de lentes de aumento, ou remotos quando realizado com instrumentos ópticos simples e/ou de controle remoto. Esta norma determina que o ensaio visual direto seja realizado quando o acesso for suficiente para se observar a superfície a uma distância máxima de 600 mm e um ângulo não menor que 30° em relação à superfície ensaiada (AMN, 2017).

Além disso, a NM 315:2017 (AMN, 2017) também determina que a superfície a ser inspecionada, seja iluminada com pelo menos 1.076 lux.

Nesta pesquisa foram realizadas inspeções após 10 ciclos térmicos, após o encerramento dos ciclos (no caso dos CPs que foram submetidos a 20 ciclos), 07 dias após o término dos ciclos e também aos 14 dias, conforme apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Sequenciamento das inspeções visuais



Fonte: Autor (2019).

As inspeções visuais antes e após cada ciclo, foram realizadas a fim de detectar possíveis mudanças de comportamento do sistema de vedação quando submetidos ao ensaio de ação e calor e choque térmico, sendo observadas e registradas todas as ocorrências. Para isso, foram utilizados os seguintes instrumentos:

- a) Câmera fotográfica semi-profissional modelo Canon PowerShot SX60 HS, com zoom óptico 65x da câmera (21 milímetros-1365 milímetros).
- b) Fissurômetro modelo FIS-002 Trident.

- c) Régua transparente graduada de 30cm.
- d) Trena.
- e) Refletor móvel, com lâmpada vapor metálico 400W.

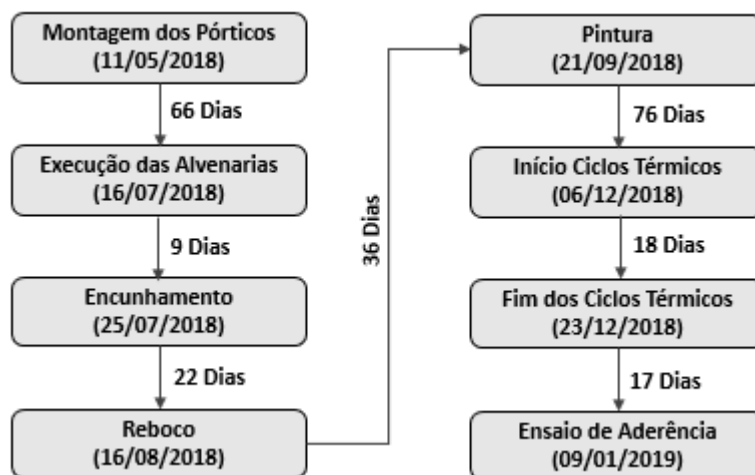
4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento da pesquisa, que consistiu na construção dos corpos de prova e na realização dos experimentos.

4.1 CONSTRUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após definição das especificações dos materiais e métodos executivos deu-se início à fase de montagem dos corpos de prova que será detalhado em etapas nos itens seguintes. Procurou-se atender os prazos mínimos de cura de cada etapa, conforme apresenta a Figura 34.

Figura 34 - Linha do tempo dos experimentos



Fonte: Autor (2019).

De acordo com a NBR 13.528:2010 (ABNT, 2010), o ensaio de arrancamento deve ser executado em revestimentos de argamassa com idade mínima de 28 dias. Os ensaios de resistência de aderência à tração dos revestimentos foram realizados 17 dias após o término dos ciclos térmicos e 146 dias após a execução da projeção da argamassa, em função da disponibilidade do equipamento de arrancamento.

4.1.1 Montagem dos pórticos

Para a montagem dos pórticos dos corpos de prova CP1 e CP2, com dimensões de 130x260cm, foram reaproveitados os dois pórticos utilizados na pesquisa de Pacheco (2017), com ajustes das alturas, uma vez que os mesmos ficariam elevados a 15 cm do piso.

Os corpos de prova CP3, CP4 e CP5, com dimensões de 110x125cm foram fabricados seguindo as mesmas especificações. A Figura 35 apresenta os pórticos durante a montagem no laboratório.

Figura 35 - Montagem dos pórticos



(a) Pórticos reaproveitados



(b) Pórticos montados

Fonte: Autor (2019).

4.1.2 Execução das alvenarias

Após a montagem dos pórticos, foi executado o assentamento dos blocos cerâmicos, com utilização de argamassa industrializada de múltiplo uso, misturada em betoneira. Procurou-se em todos os processos de preparação dos corpos de prova, que os mesmos fossem executados por profissionais qualificados, para que a qualidade do sistema de vedação não comprometesse os resultados dos ensaios. A Figura 36 apresenta a conferência do prumo da parede (a), a betoneira utilizada (b) e as alvenarias em execução (c).

Figura 36 - Alvenarias em execução



(a) Conferência do prumo



(b) Betoneira utilizada



(c) Alvenarias em execução

Fonte: Autor (2019).

A Figura 37 apresenta os 05 corpos de prova com as alvenarias prontas, aguardando a etapa de encunhamento.

Figura 37 - Alvenarias executadas



Fonte: Autor (2019).

4.1.3 Execução do encunhamento

O encunhamento foi executado 9 dias após o assentamento da alvenaria, prazo superior aos 7 dias recomendados pela ABNT NBR 8545:1984 (ABNT, 1984). Para preenchimento do espaço entre a última fiada de blocos e a parte superior do perfil, tornou-se necessário inserir pedaços de blocos para evitar os espaços vazios, que poderiam trazer danos ao corpo de prova relacionados a infiltrações quando submetidos aos jatos de água. A Figura 38 apresenta o encunhamento da alvenaria de vedação sendo executado (a) e finalizado (b).

Figura 38 - Execução do encunhamento



a) Encunhamento em execução

b) Encunhamento finalizado

Fonte: Autor (2019).

4.1.4 Execução do emboço

A execução do revestimento de argamassa aconteceu 14 dias após o encunhamento. Foi adotada a metodologia executiva por projeção mecânica, utilizando argamassa industrializada própria para projeção por bomba, sendo a mistura preparada no próprio equipamento que dispõe de misturador acoplado.

O emboço foi executado diretamente sobre os blocos cerâmicos, não sendo aplicado o chapisco, considerando que o jateamento da argamassa, por ser de alto impacto, tem uma boa aderência a alvenaria.

Inicialmente foi verificada a espessura média para o revestimento em ambas as faces. Considerando que o substrato tem 14cm de espessura e que o perfil metálico do pórtico de sustentação dos corpos de prova tem 20cm de largura, optou-se por adotar a espessura de 3cm para a face externa, que será submetida aos ensaios de choque térmico, e a mesma espessura na face oposta. De acordo com a NBR 13.749:2013 (ABNT, 2013g), os revestimentos de paredes externas devem ter espessura máxima de 3cm.

Após o preparo da mistura da argamassa com a água, a projeção iniciou-se com preenchimento das extremidades dos corpos de prova até sua cobertura total. Em seguida executou-se o sarrafeamento com a régua de alumínio, utilizando os perfis metálicos como guia para o nivelamento do revestimento. Após o sarrafeamento foi feito o acabamento final com desempenadeira. A Figura 39 apresenta as etapas de execução do revestimento de argamassa.

Foi utilizada mão de obra especializada, com equipe de 03 pessoas, sendo 01 responsável pela mistura dos insumos no equipamento e 02 na execução da projeção e acabamento. O processo executivo mostrou-se eficiente, considerando o prazo realizado com a mobilização dos equipamentos, projeção e acabamento, em torno de 4 horas, para revestimento de aproximadamente 20m² de parede, além da qualidade do acabamento final com aspecto liso. A Figura 40 apresenta os corpos de prova após conclusão do revestimento de argamassa.

Figura 39- Execução da argamassa projetada



a) Equipamento de projeção



b) Espessura do emboço



c) Início da projeção



d) Execução da projeção



e) Sarrafeamento



f) Equipe de trabalho



g) Acabamento

Fonte: Autor (2019).

Figura 40 - Corpos de prova revestidos com argamassa



Fonte: Autor (2019).

4.1.5 Execução da pintura

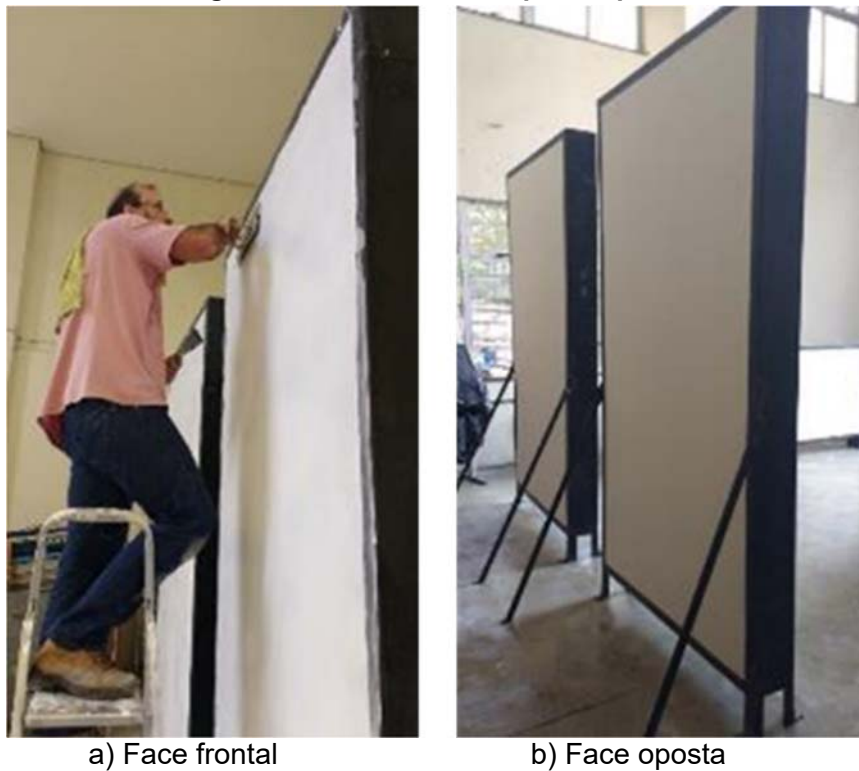
A pintura dos corpos de prova foi executada 36 dias após a projeção do revestimento, com prazo de cura superior aos 30 dias estabelecidos pela NBR 13.245:2011 (ABNT, 2011).

As superfícies das paredes apresentaram-se lisas, uniformes, sem presença de material pulverulento.

Assim, na face externa do corpo de prova, que será submetida aos ensaios de choque térmico, foi aplicada 1 demão de massa acrílica sobre o revestimento e o acabamento foi finalizado com aplicação de 2 demãos de tinta acrílica fosca para uso externo, procurou-se atingir o cobrimento total das superfícies dos corpos de prova, uma vez que seriam submetidos aos jatos de água durante o choque térmico. Na face oposta, foi aplicada apenas uma demão de tinta acrílica, considerando que esta superfície não seria submetida à umidade e que o acabamento do revestimento em argamassa projetada encontrava-se liso.

Sobre os pórticos metálicos foi aplicada uma demão de tinta esmalte grafite fosco, para proteção contra possível corrosão. A Figura 41 apresenta o processo de execução da pintura e a pintura na face oposta dos corpos de prova CP1 e CP2.

Figura 41 - Pintura dos corpos de prova



Fonte: Autor (2019).

A faces frontais dos corpos de prova CP1 e CP2 podem ser observadas na Figura 43 e dos corpos de prova CP3, CP4 e CP5 na Figura 42 .

Figura 42 - Acabamento final dos corpos de prova CP3, CP4 e CP5 após pintura



Fonte: Autor (2019).

Figura 43 - Acabamento final dos corpos de prova CP1 e CP2 após pintura



Fonte: Autor (2019).

4.2 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

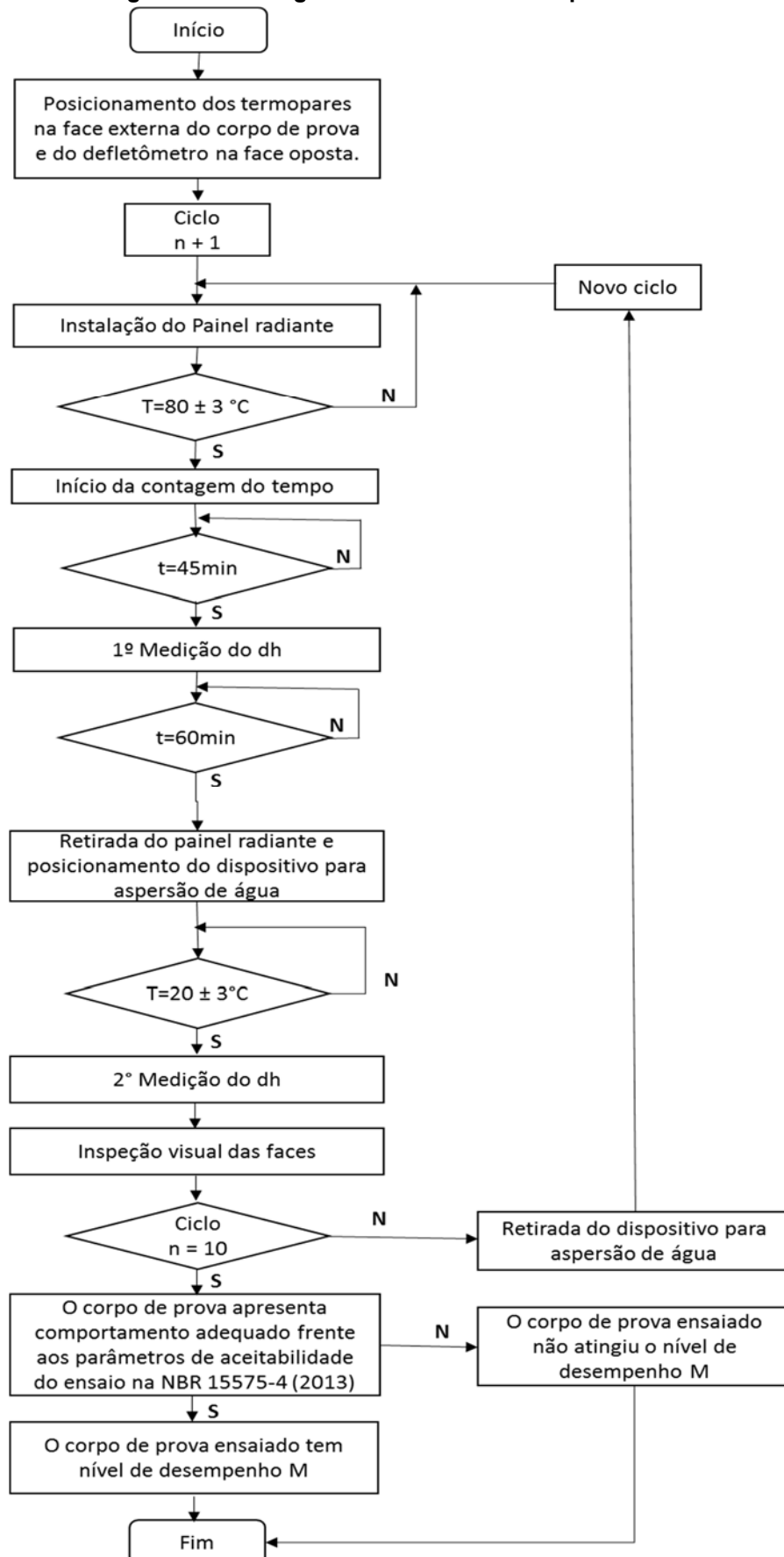
Os experimentos iniciaram-se após a construção dos corpos de prova (CP1 a CP5), montagem dos equipamentos para aquecimento (painel radiante) e resfriamento (dispositivo de aspersão), providência dos instrumentos necessários para medição dos deslocamentos horizontais (transdutor), temperaturas (termômetros, termohigrômetro e câmera infravermelho) e inspeção visual (fissurômetro, régua, trena, câmera fotográfica de alta resolução e refletor).

O desenvolvimento desta pesquisa aconteceu em 3 fases distintas, que serão detalhadas nos itens seguintes: i) aplicação dos ciclos térmicos, ii) inspeções visuais após os choques térmicos e iii) ensaios de resistência de aderência à tração.

4.2.1 Aplicação dos ciclos térmicos

Os ciclos térmicos iniciaram após os testes para aferição e configuração dos equipamentos e confirmação dos procedimentos a serem adotados. O método adotado para realização dos ensaios seguiu a prescrição do Anexo E da NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), conforme fluxograma apresentado na Figura 44.

Figura 44 - Fluxograma do ensaio de choque térmico



Fonte: Pacheco (2017).

Os ensaios de ação de calor e choque térmico, foram realizados nos dois corpos de prova grandes (20 ciclos no CP1 e 10 ciclos no CP2) e dois pequenos (10 ciclos no CP3 e 20 ciclos no CP4), totalizando 60 ciclos em 14 dias, no período de 06/12/2018 a 23/12/2018. Os ciclos tiveram duração média de 2 horas e 40 minutos, desde o acionamento da potência do painel até o fim do resfriamento.

Os ensaios foram realizados na seguinte sequência: i) CP1 – dimensões: 130x265cm, 20 ciclos; ii) CP2 – dimensões: 130x265cm, 10 ciclos; iii) CP3 – dimensões: 110x125cm, 10 ciclos; e iv) CP4 – dimensões: 110x125cm, 20 ciclos.

Durante os ciclos térmicos, foram atendidos os parâmetros estabelecidos pela norma, quanto às temperaturas, tanto na etapa de aquecimento quanto de resfriamento, assim como o tempo de 60 minutos que a superfície do corpo de prova deve ser aquecida.

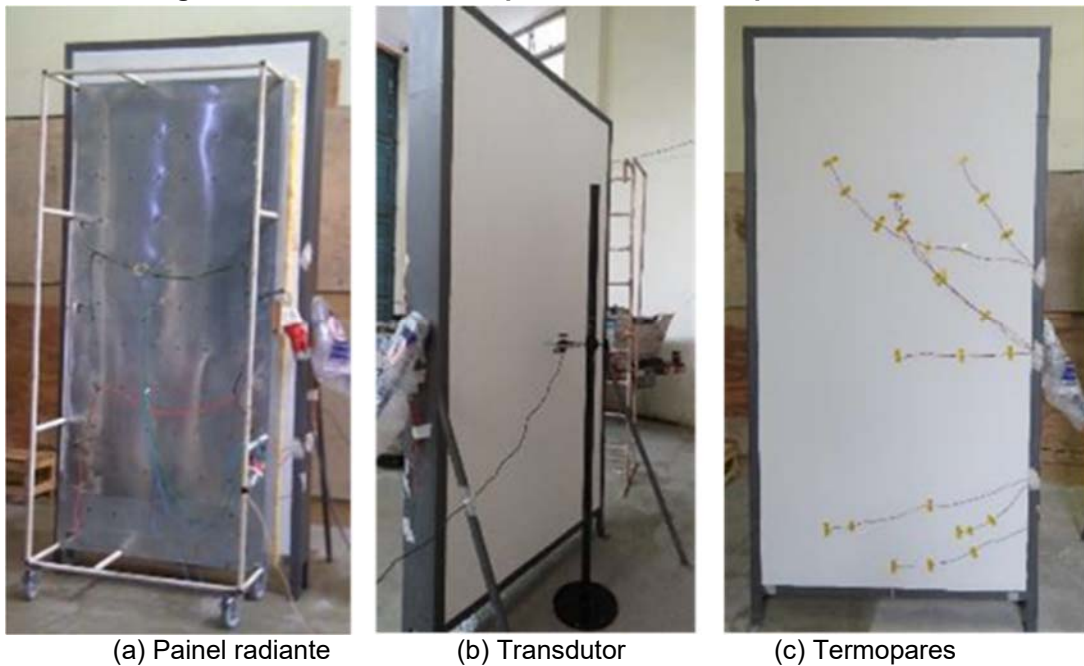
Inicialmente, foram posicionados os termopares atendendo ao mínimo exigido pela norma, sendo 04 sensores nas extremidades e 01 de controle ao centro. No entanto, como o painel de aquecimento foi dividido em duas zonas, tornou-se necessário inserir 02 termopares de controle, sendo o posicionamento deste, de forma a atingir a temperatura mínima de 77°C determinada pela norma.

O transdutor para aferição do deslocamento horizontal do corpo de prova foi posicionado ao centro de sua face oposta, sendo considerado como referência a altura do painel de aquecimento, que corresponde à área aquecida. Em seguida a temperatura da superfície da parede era aferida por um termômetro infravermelho e o painel radiante encostado ao corpo de prova. Neste momento também foram registradas a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.

Após serem posicionados os equipamentos e executados os aplicativos no computador para aquisição e registro dos dados, as resistências eram acionadas e iniciava-se a fase de aquecimento. O tempo de 60 minutos determinado pela norma para aquecimento da superfície do corpo de prova, em temperatura média de $80 \pm 3^\circ\text{C}$, foi contado a partir do momento que os dois controladores registravam 80°C . Durante todo o ciclo, nas fases de aquecimento e resfriamento, a aquisição dos dados foi monitorada em tempo real.

A Figura 45 apresenta o corpo de prova CP1 com o painel radiante durante aquecimento (a), o transdutor na face oposta (b) e os termopares posicionados (c).

Figura 45 - CP01 com termopares, transdutor e painel radiante



Fonte: Autor (2019).

As temperaturas aferidas pelos termopares posicionados na superfície do corpo de prova eram visualizadas na tela do computador por meio do software de configuração *FieldLogger*, conforme exemplificado na Figura 46.

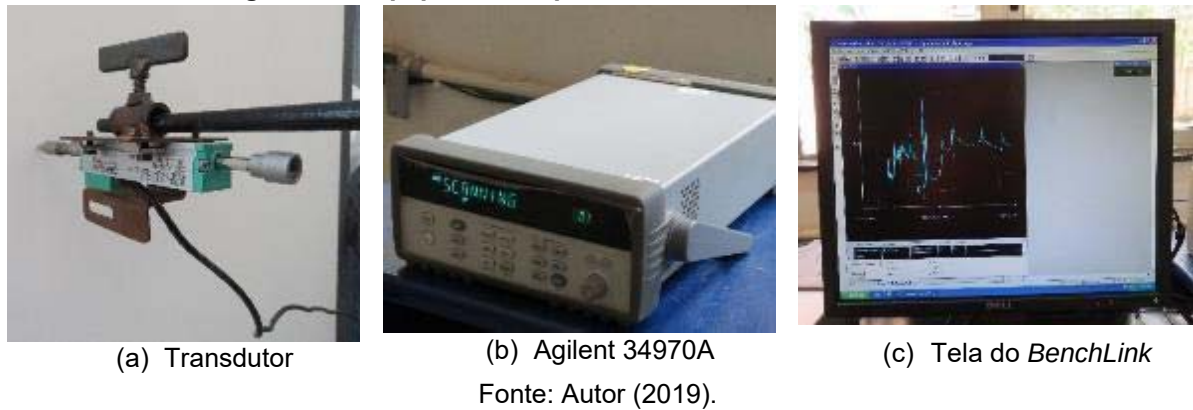
Figura 46 - Tela de Diagnósticos do FieldLogger



Fonte: Autor (2019).

Da mesma forma, foram monitorados os registros dos deslocamentos, com leitura a cada segundo, por meio da unidade de aquisição e comutação de dados modelo Agilent 34970A e do software *BenchLink Data Logger*, conforme apresentado na Figura 47.

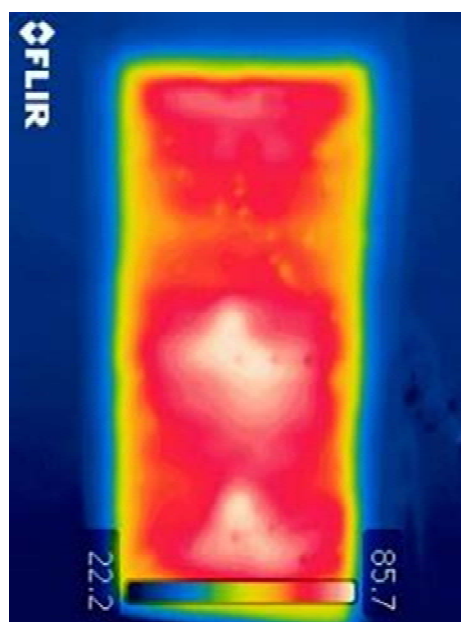
Figura 47 - Equipamentos para aferição dos deslocamentos



Transcorridos os 60 minutos de aquecimento da superfície do corpo de prova em $80 \pm 3^\circ\text{C}$, o painel foi afastado, aferida a temperatura da superfície por meio do termômetro infravermelho, registrada a termografia da parede e o dispositivo de resfriamento foi posicionado. O intervalo entre o afastamento do painel de aquecimento e a ligação da bomba para aspersão da água sobre a parede durou em entre 2 e 3 minutos.

A Figura 48 apresenta a termografia (taxa de emissividade 0,92) do corpo de prova CP1, registrada logo após o afastamento do painel de aquecimento. A moldura destacada nesta termografia é devida ao pórtico metálico que é um bom condutor de calor. A Figura 49 apresenta o dispositivo de aspersão durante a fase de resfriamento.

Figura 48 - Termografia do CP1 Ciclo 9



Fonte: Autor (2019).

Figura 49 - Dispositivo de aspersão

Fonte: Autor (2019).

Durante os experimentos do estudo piloto, foi identificado que a temperatura da superfície da parede ao final do resfriamento, atingia a temperatura ambiente e não os $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ estabelecidos pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), uma vez que a água aspergida estava próxima à temperatura ambiente. Assim, para reduzir a temperatura da água, 5 minutos antes da previsão para o afastamento do painel, foram adicionados 40kg de gelo ao reservatório, sendo registradas as temperaturas da água no reservatório na temperatura ambiente (antes da adição do gelo) e na temperatura em que era aspergida.

Foram utilizados 2.400kg de gelo triturado, para resfriamento da água, sendo 2 pacotes de 20kg adicionados ao reservatório a cada ciclo. Não houve controle do processo de resfriamento da água, no entanto, a temperatura da água gelada foi aferida durante os ensaios e registrada entre $7,8^{\circ}\text{C}$ e $16,5^{\circ}\text{C}$.

A Figura 50 apresenta o reservatório logo após adição de gelo e imagens do termohigrômetro com registro em intervalo de 10 minutos em temperatura ambiente de 27°C , a variação de temperatura da água de $24,3^{\circ}\text{C}$ (antes da adição de gelo) e $9,8^{\circ}\text{C}$ (após colocação do gelo no reservatório). Neste intervalo a temperatura ambiente variou entre 27 e $27,2^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa do ar entre 70 e 69%.

Figura 50 - Reservatório de água com adição de gelo



(a) Reservatório com gelo

Fonte: Autor (2019).



(b) Temperaturas sem o gelo



(c) Temperaturas após o gelo

De acordo com a norma, durante o resfriamento, a superfície da parede deve atingir $20 \pm 3^\circ\text{C}$, para isso a aspersão foi mantida por 10 minutos após posicionamento do dispositivo de aspersão junto ao corpo de prova, desligada por 5 minutos e ligada novamente por mais 10 minutos, totalizando 25 minutos de resfriamento.

Durante os ensaios, observou-se o comportamento do corpo de prova, com verificação e registro de ocorrências de falhas ou defeitos nas duas faces do corpo de prova, por meio de inspeções visuais conforme determina a norma.

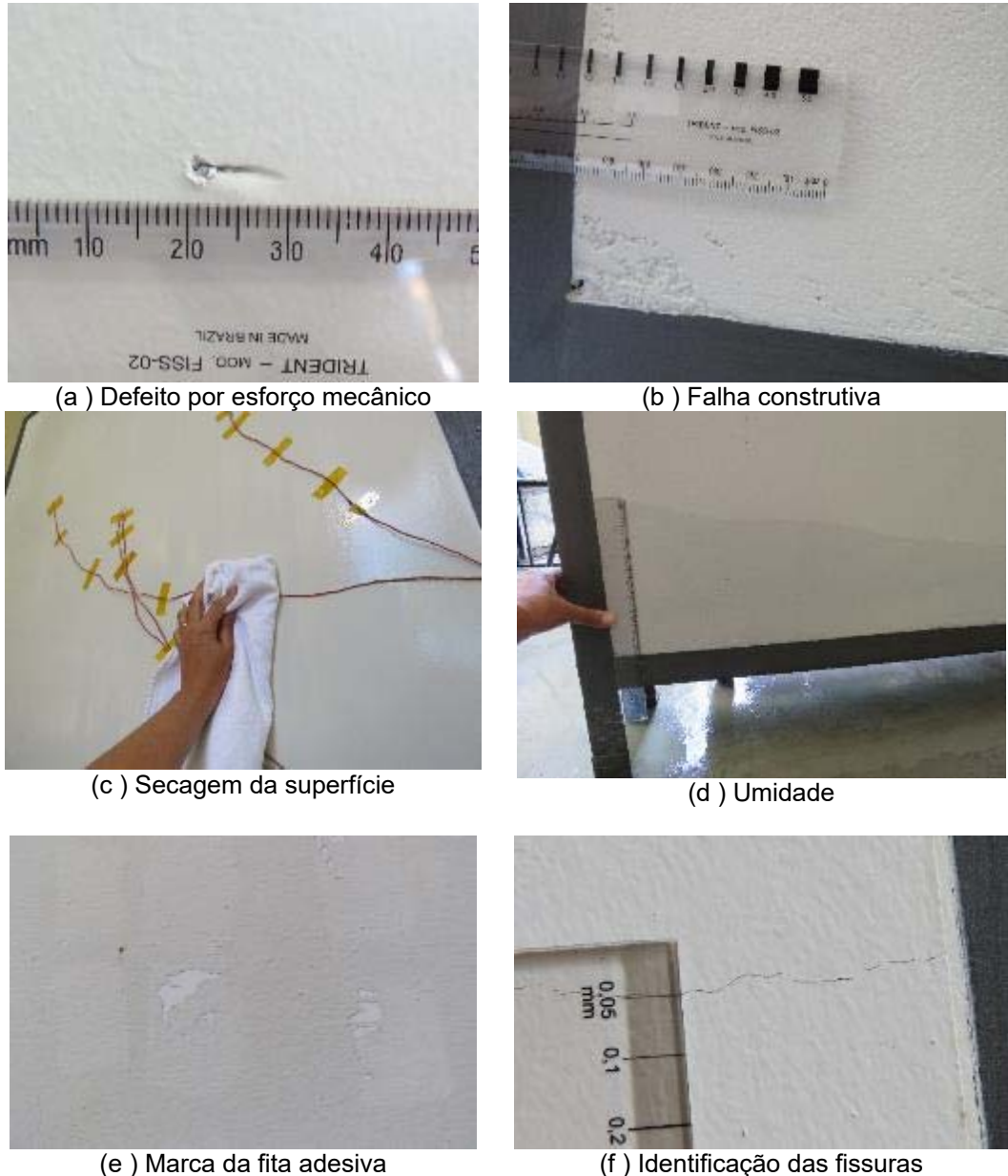
4.2.2 Inspeções visuais após os ciclos térmicos

Antes de iniciar o primeiro ciclo de ação de calor e choque térmico, as superfícies dos corpos de prova foram inspecionadas e registrados todos os defeitos apresentados, seja por falhas construtivas ou por esforço mecânico, a fim de verificar as reais ocorrências em função dos ciclos térmicos.

Durante e após cada ciclo, as superfícies dos corpos de prova foram inspecionadas conforme recomendado pela norma, com registro de todas as ocorrências. Foram registrados o momento em surgiram as falhas, assim como suas características iniciais quanto aos aspectos visuais e dimensionais. Quanto às fissuras, foram registrados as espessuras e os comprimentos, assim como sua evolução a cada inspeção, com utilização de câmera fotográfica de alta resolução.

A Figura 51 apresenta o registro de algumas ocorrências durante os ensaios, como defeito por esforço mecânico (a), falhas construtivas (b), secagem da superfície para facilitar a inspeção após o resfriamento (c), identificação de umidade (d), defeito causado após retirada da fita adesiva de fixação dos termopares (e), e identificação da espessura de uma fissura (f).

Figura 51 - Inspeções visuais



Fonte: Autor (2019).

Entre os intervalos dos ciclos sucessivos, uma vez que foram realizados de 3 a 5 ciclos por dia, tornou-se necessária a secagem da superfície dos corpos de prova, para evitar que o escoamento da água não influenciasse na leitura dos termopares

no início da fase de aquecimento. Tal comportamento foi percebido durante dos testes prévios realizados com os equipamentos.

Além das inspeções durante e imediatamente após os ciclos térmicos, conforme determinado pela norma, nesta pesquisa também foram realizadas inspeções aos 7 dias e aos 14 dias após o encerramento dos ensaios, seguindo os mesmos critérios.

4.2.3 Ensaios de resistência de aderência à tração

Após a execução dos ensaios de ação de calor e choque térmico, foram executados os testes de resistência de aderência à tração, conforme metodologia prescrita pela NBR 13528:2010 (ABNT, 2010), para verificação do efeito da variação brusca de temperatura sobre o comportamento dos sistemas de vedações verticais externos.

Os testes foram realizados nos 05 corpos de prova (CP01 a CP05), sendo extraídos 12 amostras para o ensaio de aderência em cada um. O ensaio de aderência foi realizado no mesmo dia, após 146 dias da execução da argamassa projetada e após realização das inspeções visuais aos 14 dias dos ensaios de choque térmico.

Os furos foram executados à seco, com serra copo diamantada acoplada em uma furadeira profissional até atingir o substrato (bloco cerâmico). Durante a execução dos cortes, em alguns, a pintura e a massa acrílica soltaram-se parcialmente da argamassa. Isto pode ter ocorrido pelo fato da presença de dois tipos de polímeros diferentes, sendo a massa acrílica mais rígida que a resina acrílica. Além do módulo de elasticidade da tinta polimérica ser diferente do substrato em cerâmica, que faz com que os materiais se deformem de forma diferente.

Por este motivo, optou-se por retirar com uma espátula a camada deste acabamento antes de colar as pastilhas, para eliminar o efeito desta possível variável sobre os resultados dos ensaios. A Figura 52 apresenta a execução do corte e remoção da pintura.

Figura 52 - Execução dos furos e remoção do acabamento



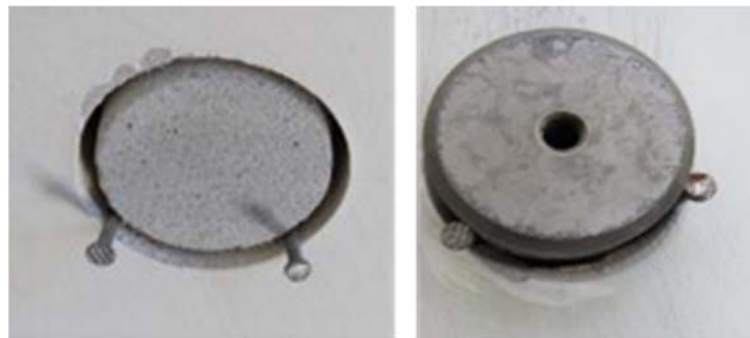
a) Execução dos furos

b) Remoção do acabamento

Fonte: Autor (2019).

Foram inseridos dois pregos como dispositivos de suportes para evitar o escorregamento da pastilha até a cura da cola conforme exemplifica a Figura 53.

Figura 53 - Dispositivo de suporte das pastilhas



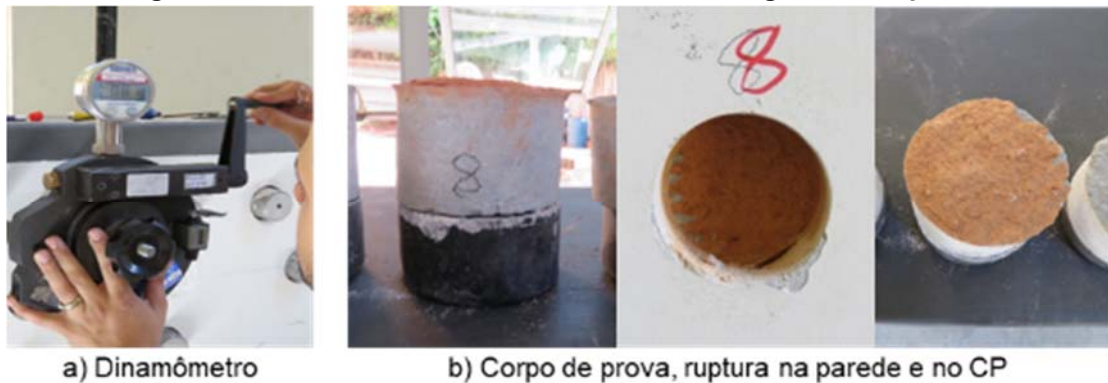
a) Pregos

b) Pastilhas coladas

Fonte: Autor (2019).

Foi utilizada cola epóxi, com cura de 10 minutos, para fixação das pastilhas e aguardados 40 minutos para execução dos testes. Para isso, o dinamômetro foi apoiado de forma perpendicular às paredes e aplicadas as cargas até a ruptura do corpo de prova. Após o rompimento dos corpos de prova, foi feito o registro fotográfico das rupturas e anotadas as cargas de ruptura em planilha apropriada para cada corpo extraído. A Figura 54 apresenta o dinamômetro apoiado sobre uma parede durante a execução do ensaio (a) e o exemplo de registro fotográfico das rupturas.

Figura 54 - Realização do ensaio de aderência e registro de rupturas



a) Dinamômetro

b) Corpo de prova, ruptura na parede e no CP

Fonte: Autor (2019).

Antes da extração dos corpos de prova, foram retiradas 3 amostras para determinação do teor de umidade das áreas ensaiadas. Cada corpo de prova extraído foi identificado e acondicionado em saco plástico de forma individual, pesados no estado úmido, mantidos por 24 horas em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, conforme observa-se na Figura 55. Após o resfriamento natural, as amostras foram pesadas novamente e calculado o teor médio de umidade.

Figura 55 - Processo de secagem das amostras



Fonte: Autor (2019).

As posições para realizar os cortes foram escolhidas aleatoriamente, porém, apesar da impossibilidade de identificar onde haviam juntas verticais e horizontais, procurou-se acertar diferentes posições - no bloco ou na junta - conforme recomendado pela NBR 13.528:2010 (ABNT, 2010). Além disso, procurou-se também fazer os testes na área onde houve maior aquecimento, sendo os corpos de prova mais baixo em sua parte superior e os corpos de prova mais altos (CP01 e CP02) ao

centro. As condições ergonômicas do operador para a execução dos furos também foram consideradas, para garantir a qualidade dos resultados do ensaio. A Figura 56 apresenta o corpo de prova CP04 após os testes de aderência.

Figura 56 - Corpo de prova CP04 após ensaio de aderência



Fonte: Autor (2019).

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados obtidos com a realização dos experimentos, que embasaram as análises e conclusões para responder à pergunta proposta por esta pesquisa, que compreende principalmente a análise do comportamento de corpos de prova com diferentes dimensões, conforme apresenta o Quadro 10, quando submetidas ao ensaio de ação de calor e choque térmico, conforme recomendado pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

Quadro 10 - Variações das dimensões dos corpos de prova

Corpos de Prova	Dimensões externas (considerando o pórtico)	Dimensões Internas
CP1	130 x 265cm	120 x 240cm
CP2	130 x 265cm	120 x 240cm
CP3	110 x 125cm	100 x 100cm
CP4	110 x 125cm	100 x 100cm
CP5	110 x 125cm	100 x 100cm

Fonte: Autor (2019).

5.1 CICLOS TÉRMICOS

Os corpos de prova CP01 a CP04, foram submetidos aos ciclos de ação de calor e choque térmico, que compreende uma fase de aquecimento da superfície da parede mantendo a temperatura em $80 \pm 3^\circ\text{C}$ por uma hora, seguida de resfriamento brusco com aplicação de jatos de água, conforme prescrito pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

O tempo de aquecimento de 60 minutos foi contado após a superfície do corpo de prova atingir 80°C . Esta leitura foi monitorada por meio dos controladores, que registravam as temperaturas aferidas pelos termopares controles, fixados na superfície do corpo de prova. Para os corpos de prova CP01 e CP02, foram utilizados os dois controladores e para os corpos de prova CP03 e CP04 foi adotado um controlador.

O tempo para a superfície dos corpos de prova atingirem 80°C , após o acionamento das resistências até a leitura pelos controladores, variou entre 6 e 16 minutos, conforme observa-se na Tabela 9. O coeficiente de variação representa quanto o desvio padrão variou percentualmente em relação ao valor médio.

Tabela 9 - Tempo médio para a superfície das paredes atingir 80°C.

Corpos de Prova	Nº de Ciclos	Mínimo (min)	Máximo (min)	Média (min)	Desvio Padrão (min)	Coefficiente de Variação (%)
CP01	20	06	14	08	02:46	31,41%
CP02	10	09	16	10	02:01	18,58%
CP03	10	08	16	12	02:30	20,79%
CP04	20	07	15	10	02:47	25,60%

Fonte: Autor (2019).

Nos corpos de prova CP01 e CP02, foram utilizadas 2 zonas de aquecimento, sendo necessário a inclusão de 2 termopares de controle. Assim conforme recomendado pela norma, foram instalados 2 termopares (TP5 e TP6) nas extremidades inferiores da superfície da parede, 1 termopar (TC1) de controle na zona inferior, 2 termopares (TP1 e TP2) nas extremidades superiores, 1 termopar (TC2) de controle na zona superior. O termopar TP3 foi instalado ao lado do termopar controle TC2 uma vez que o controlador da zona superior, apesar de controlar o acionamento/desligamento das resistências, não tem comunicação com dispositivo de aquisição e registro de dados.

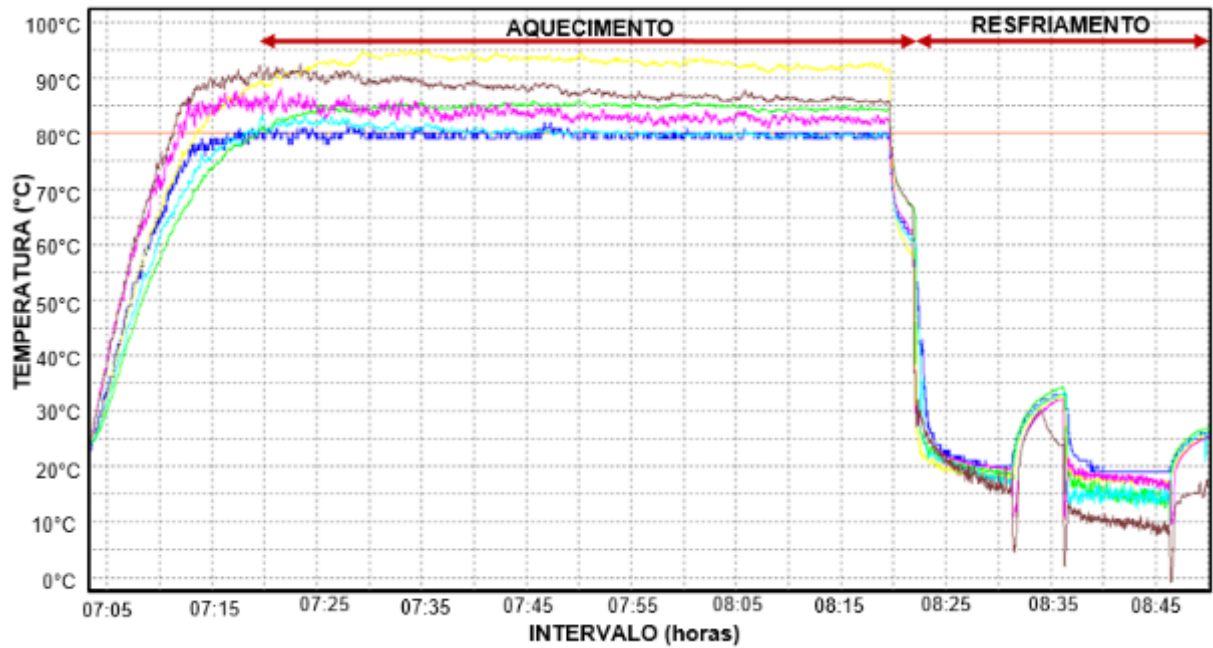
A Tabela 10 apresenta as temperaturas registradas durante a fase de aquecimento, em um dos corpos de prova de maiores dimensões (Ciclo 06 do CP02) e a Figura 57 apresenta o diagnóstico deste ciclo completo.

Tabela 10 - Temperaturas na fase de aquecimento do 6º Ciclo do CP02

Canal	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Desvio Padrão (°C)	Coefficiente de Variação
Termopar Controle - TC1	79,68	82,00	78,00	0,60	0,76%
Termopar 1 - TP1	84,55	85,90	80,00	0,86	1,02%
Termopar 2 - TP2	92,74	95,20	88,30	1,15	1,24%
Termopar 3 - TP3 (TC2)	80,43	83,10	79,10	0,85	1,05%
Termopar 5 - TP5	83,47	88,20	80,90	1,19	1,42%
Termopar 6 - TP6	87,92	92,50	85,40	1,68	1,91%

Fonte: Autor (2019).

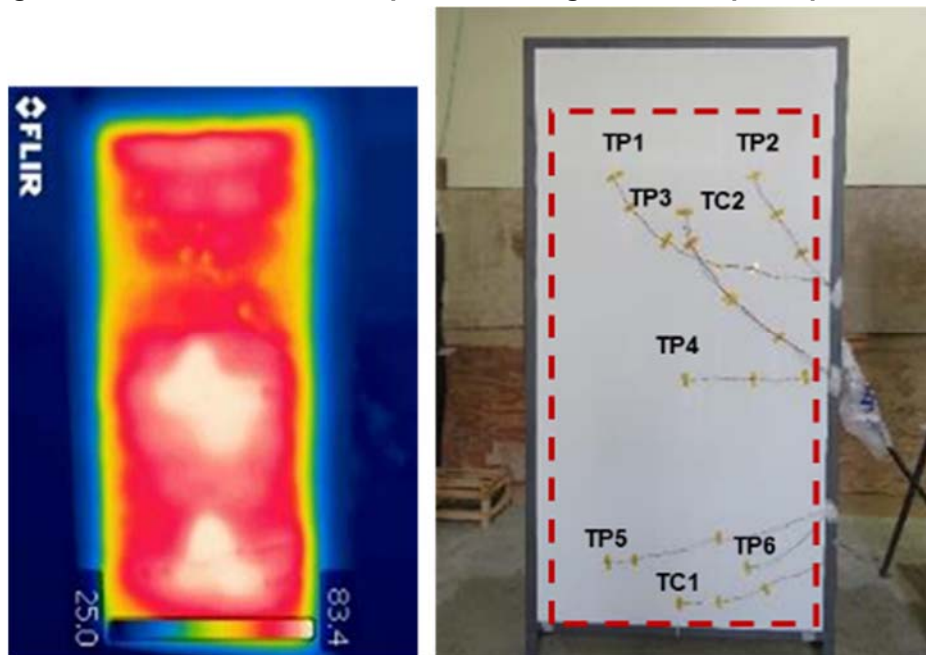
Figura 57 - Diagnóstico da fase de aquecimento do 6º Ciclo do Corpo de prova CP02



Fonte: Autor (2019).

A Figura 58 apresenta o corpo de prova CP02, com os termopares posicionados no limite da área aquecida (a) e a termografia da superfície aquecida (b) logo após o afastamento do painel radiante ao término do aquecimento.

Figura 58 - Indicação dos termopares e termografia do Corpo de prova CP02



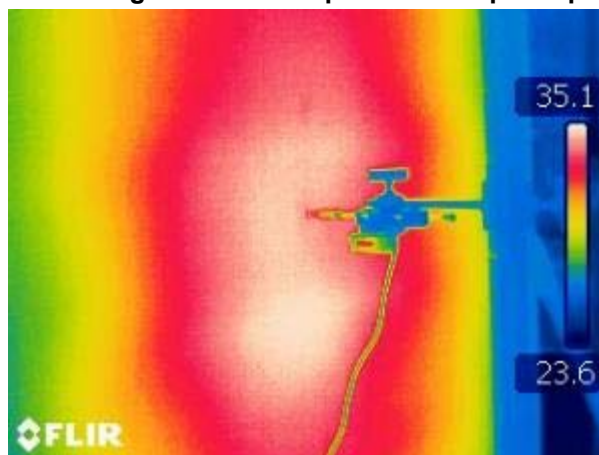
a) Termografia da face frontal

b) Indicação dos termopares e delimitação da área aquecida

Fonte: Autor (2019).

Não houve registro e controle da temperatura da superfície oposta do corpo de prova, no entanto, durante os ensaios a mesma foi monitorada e observada, para identificar qualquer tipo de ocorrência. A Figura 59 apresenta uma termografia (taxa de emissividade 0,92) com o registro da temperatura de 35,1°C, após 50 minutos de aquecimento, ao centro do corpo de prova, na região de medição dos deslocamentos horizontais.

Figura 59 - Termografia da face oposta do Corpo de prova CP02



Fonte: Autor (2019).

Nos corpos de prova CP03 e CP04, o aquecimento realizou-se com 01 zona de aquecimento, com utilização de 1 termopar controle, 2 termopares (TP3 e TP4) nas extremidades inferiores da superfície da parede e 2 termopares (TP1 e TP2) nas extremidades superiores.

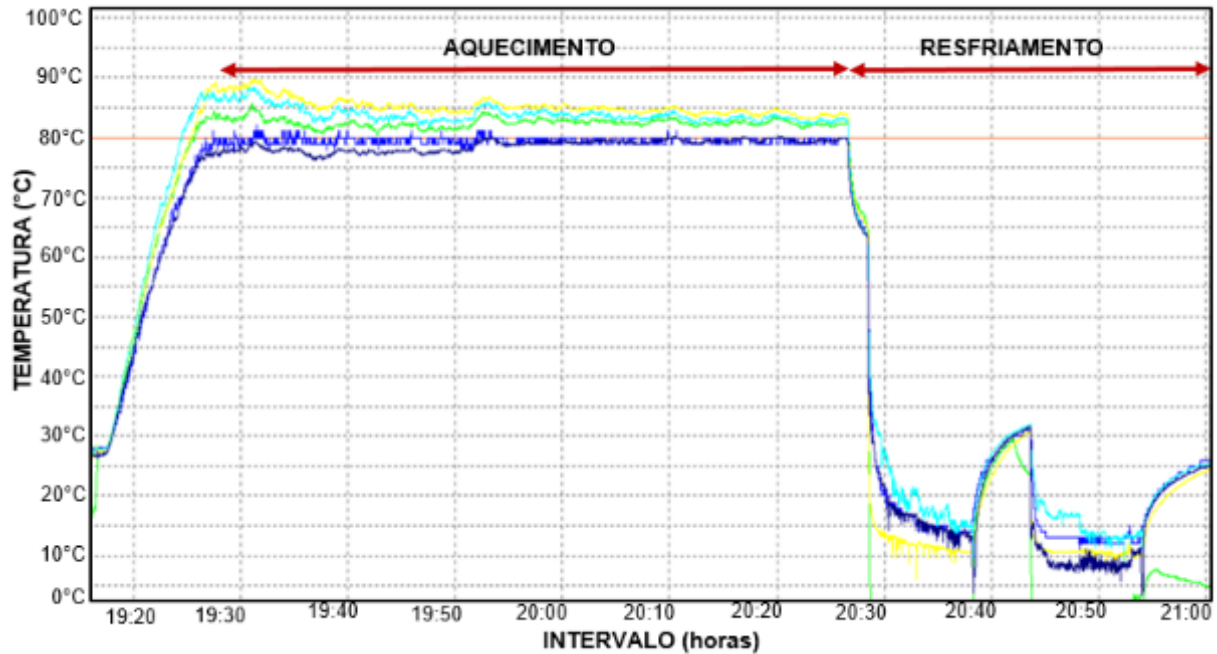
Em todos os ciclos, as temperaturas mínimas ficaram acima do valor mínimo de 77°C determinado pela norma, conforme observa-se na Tabela 11, que apresenta as temperaturas registradas durante a fase de aquecimento, em um dos corpos de prova de menores dimensões (Ciclo 10 do CP04). A Figura 60 apresenta o diagnóstico deste ciclo completo.

Tabela 11 - Temperaturas na fase de aquecimento do 10º Ciclo do CP04

Canal	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Desvio Padrão (°C)	Coefficiente de Variação
Termopar Controle - TC	79,55	82,00	77,00	0,58	0,73%
Termopar 1 - TP1	82,48	85,60	80,40	0,71	0,86%
Termopar 2 - TP2	85,25	89,90	83,10	1,39	1,63%
Termopar 3 - TP3	83,93	88,30	81,80	1,26	1,50%
Termopar 4 - TP4	78,67	80,20	76,20	0,94	1,20%

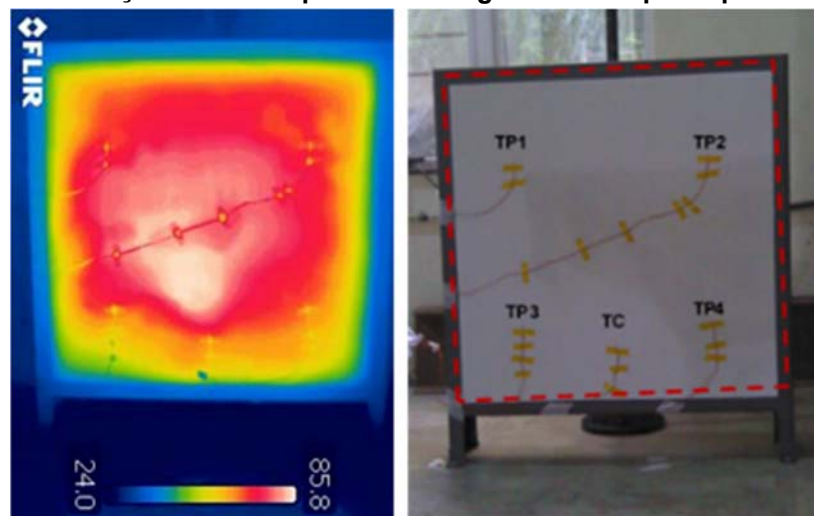
Fonte: Autor (2019).

Figura 60 - Diagnóstico do 10º Ciclo do Corpo de prova CP04



Os corpos de prova CP03 e CP04, com dimensões de 110x125cm, tiveram aquecimento na área total de suas superfícies. A Figura 61 apresenta o corpo de prova CP04, com os termopares posicionados no limite da área aquecida (a) e a termografia da superfície aquecida (b) logo após o afastamento do painel radiante ao término do aquecimento.

Figura 61 - Indicação dos termopares e termografia do Corpo de prova CP04



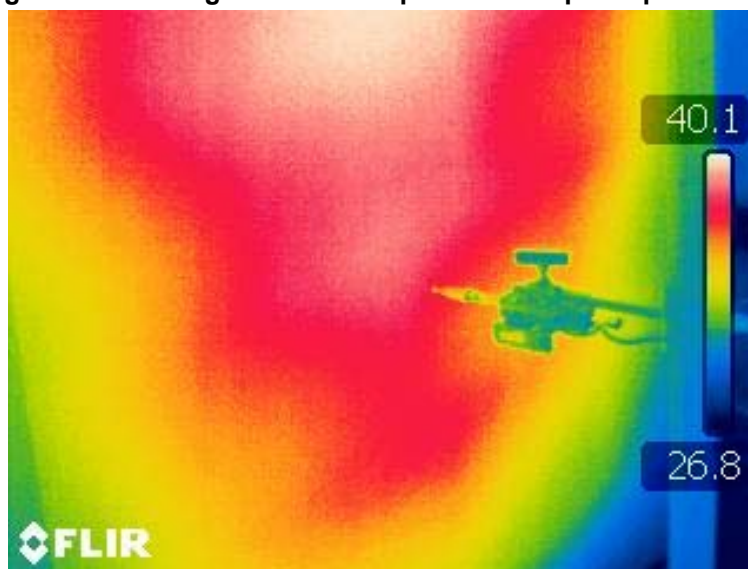
a) Termografia da face frontal

b) Indicação dos termopares

Fonte: Autor (2019).

A Figura 62 apresenta uma termografia (taxa de emissividade 0,92) com o registro da temperatura de 40,1°C, após 30 minutos de aquecimento, ao centro do corpo de prova, na região de medição dos deslocamentos horizontais.

Figura 62 - Termografia da face oposta do Corpo de prova CP04



Fonte: Autor (2019).

A NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) determina que a temperatura da superfície da parede deve ser resfriada até atingir $20 \pm 3^\circ\text{C}$, mas não define com detalhes os critérios para a realização deste resfriamento. Assim, com o intuito de avaliar e identificar as variáveis que podem influenciar nos resultados dos ensaios de durabilidade dos SVVE, as temperaturas da superfície da face externa do corpo de prova nesta pesquisa, foram registradas com utilização de um termômetro à laser.

Foram também registradas por meio de um termohigrômetro, as temperaturas ambientes, temperatura da água em estado natural e após a adição do gelo, e também a umidade relativa do ar. Estes valores para cada corpo de prova podem ser verificados na Tabela 12 (CP1), Tabela 13 (CP2), Tabela 14 (CP3) e Tabela 15 (CP4).

Tabela 12 - Dados sobre o resfriamento – CP01

	Temperatura Inicial da parede antes do ensaio (°C)	Temperatura da Parede após afastamento do painel (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Temperatura da Água Natural (°C)	Temperatura da Água Gelada (°C)
Valor Máximo	31,50	84,50	31,90	84,00	24,50	15,00
Valor Médio	26,70	79,78	24,52	67,05	23,29	13,89
Valor Mínimo	20,00	75,00	19,70	55,00	21,50	10,00
Desvio Padrão	2,98	3,12	2,89	8,85	0,86	1,12
Coef.de Variação (%)	11,2%	3,9%	11,8%	13,2%	3,7%	8,1%

Fonte: Autor (2019).

Tabela 13 - Dados sobre o resfriamento – CP02

	Temperatura Inicial da parede antes do ensaio (°C)	Temperatura da Parede após afastamento do painel (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Temperatura da Água Natural (°C)	Temperatura da Água Gelada (°C)
Valor Máximo	31,00	85,00	29,00	70,00	26,10	16,50
Valor Médio	29,38	83,50	26,50	56,90	24,49	15,07
Valor Mínimo	23,00	81,00	24,00	44,00	23,50	13,40
Desvio Padrão	2,77	1,52	3,54	8,21	0,84	0,94
Coef.de Variação (%)	9,4%	1,8%	13,3%	14,4%	3,4%	6,2%

Fonte: Autor (2019).

Tabela 14 - Dados sobre o resfriamento – CP03

	Temperatura Inicial da parede antes do ensaio (°C)	Temperatura da Parede após afastamento do painel (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Temperatura da Água Natural (°C)	Temperatura da Água Gelada (°C)
Valor Máximo	30,00	84,00	33,60	60,00	25,20	11,00
Valor Médio	27,88	81,30	29,11	50,50	20,86	9,59
Valor Mínimo	25,00	77,00	24,90	42,00	15,40	7,80
Desvio Padrão	1,73	2,79	2,62	5,52	3,48	1,05
Coef.de Variação (%)	6,2%	3,4%	9,0%	10,9%	16,7%	10,9%

Fonte: Autor (2019).

Tabela 15 - Dados sobre o resfriamento – CP04

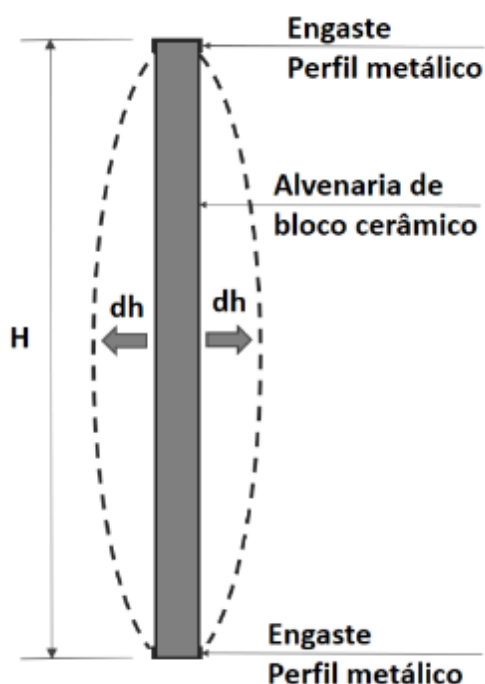
	Temperatura Inicial da parede antes do ensaio (°C)	Temperatura da Parede após afastamento do painel (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Temperatura da Água Natural (°C)	Temperatura da Água Gelada (°C)
Valor Máximo	39,00	88,00	32,30	77,00	25,20	12,40
Valor Médio	28,85	80,35	27,50	64,70	22,29	9,93
Valor Mínimo	23,00	76,00	23,20	52,00	18,50	8,00
Desvio Padrão	3,91	3,69	2,37	7,56	1,67	1,12
Coef.de Variação (%)	13,6%	4,6%	8,6%	11,7%	7,5%	11,3%

Fonte: Autor (2019).

5.2 DESLOCAMENTOS

Um dos critérios de avaliação da NBR 15.575-4:2013 para verificação se um SVVE atende aos requisitos mínimos quanto à durabilidade, quando submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico, são os deslocamentos horizontais dos corpos de prova. O deslocamento horizontal (dh) do corpo de prova, trata-se da movimentação perpendicular ao sistema de vedação, conforme representado na Figura 63.

Figura 63 - Deslocamento horizontal



Fonte: Autor (2019).

O parâmetro de aceitabilidade da norma para o deslocamento horizontal se limita a $H/300$, onde H corresponde à altura do corpo de prova. Nesta pesquisa, considerou-se como altura de referência a dimensão da área aquecida, sendo os corpos de prova CP01 e CP02 com 220cm e os corpos de prova CP03 e CP04 com 100cm.

Os valores máximos de deslocamentos horizontais, podem ser observados na Tabela 16, onde o maior valor corresponde a 0,328mm para CP01 e CP02 e 0,289mm para CP 03 e CP04. De acordo com os parâmetros da ABNT NBR 15.575-4:2013, os SVVE's em estudo atendem ao requisito de durabilidade.

Tabela 16 - Deslocamentos máximos registrados

Corpos de prova	Altura Aquecida (mm)	Parâmetro Limite $H/300$ (mm)	Deslocamento aos 45 minutos de aquecimento (mm)	Deslocamento ao final do resfriamento (mm)
CP1	2200	7,33	-0,328	-0,192
CP2	2200	7,33	-0,299	-0,318
CP3	1000	3,33	-0,271	-0,195
CP4	1000	3,33	-0,289	-0,222

Fonte: Autor (2019).

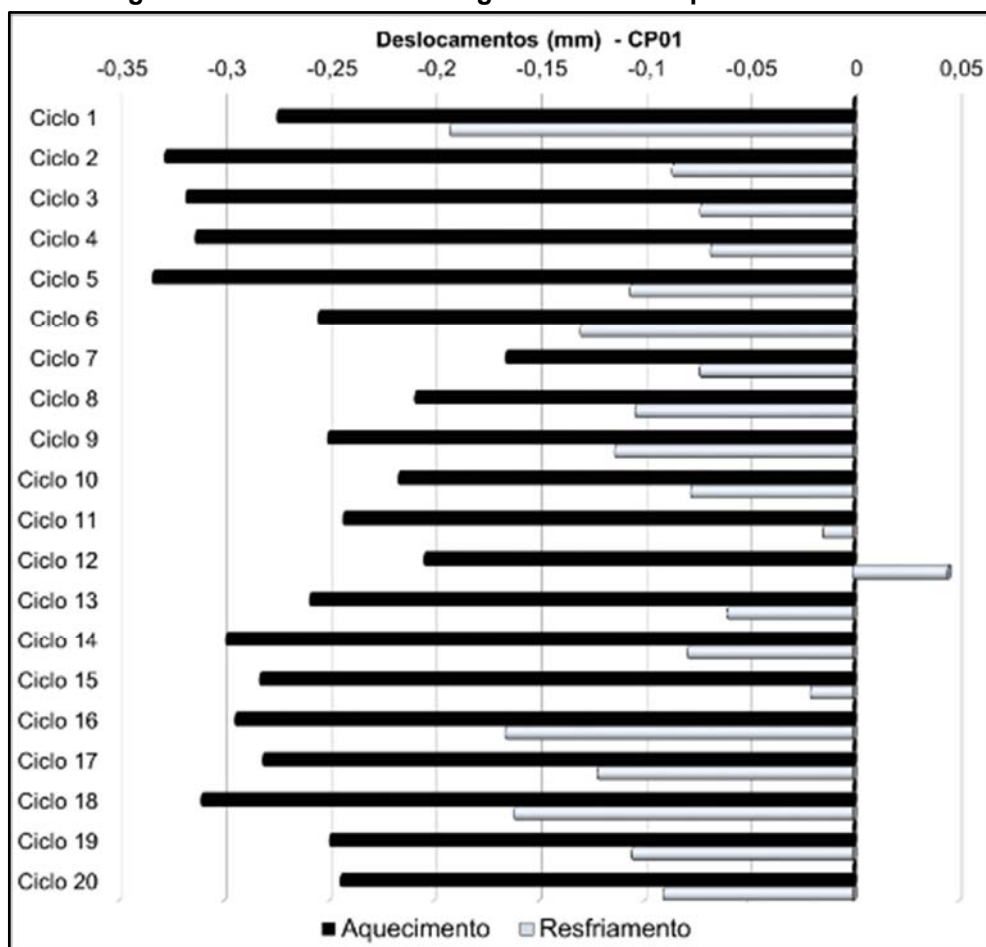
Os deslocamentos horizontais medidos em cada ciclo, aos 45 minutos de aquecimento e imediatamente após o resfriamento, nos corpos de prova com área aquecida de 100x220cm, podem ser observados na Tabela 17, na Figura 64 (CP1), e na Figura 65 (CP02).

Tabela 17 - Deslocamentos horizontais dos corpos de prova CP1 e CP2

CICLO	CP 01		CP 02		H (mm)	LIMITE H/300 (mm)
	AQUEC. (mm)	RESFR. (mm)	AQUEC. (mm)	RESFR. (mm)		
1	-0,274	-0,192	-0,265	-0,318	2200	7,333
2	-0,328	-0,086	-0,255	-0,080		
3	-0,318	-0,073	-0,299	-0,113		
4	-0,313	-0,068	-0,219	0,076		
5	-0,333	-0,106	-0,218	-0,064		
6	-0,255	-0,130	-0,209	-0,074		
7	-0,165	-0,073	-0,210	-0,101		
8	-0,208	-0,104	-0,206	-0,022		
9	-0,250	-0,113	-0,220	-0,086		
10	-0,216	-0,077	-0,247	-0,151		
11	-0,243	-0,014				
12	-0,204	0,045				
13	-0,259	-0,060				
14	-0,298	-0,079				
15	-0,282	-0,020				
16	-0,294	-0,165				
17	-0,281	-0,121				
18	-0,310	-0,161				
19	-0,249	-0,105				
20	-0,244	-0,090				

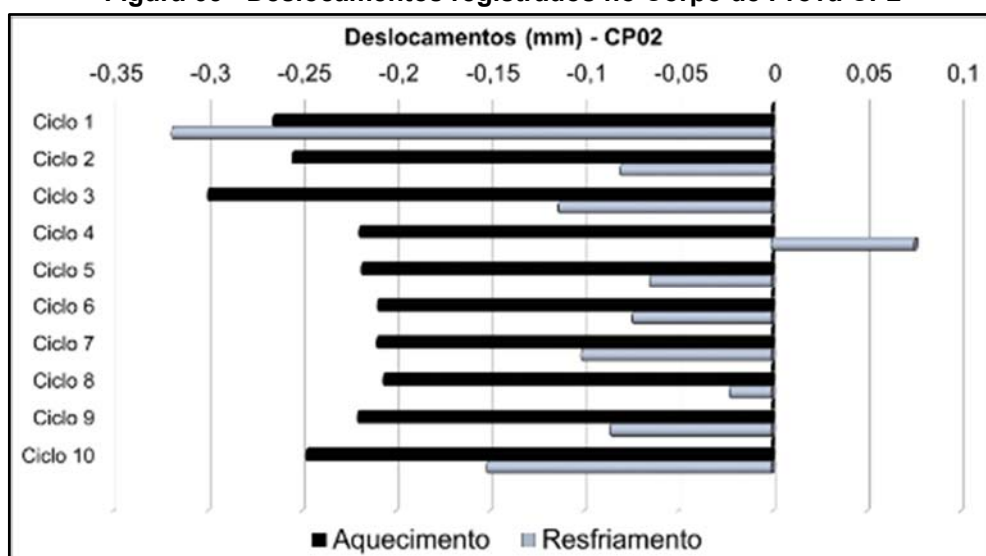
Fonte: Autor (2019).

Figura 64 - Deslocamentos registrados no Corpo de Prova CP1



Fonte: Autor (2019).

Figura 65 - Deslocamentos registrados no Corpo de Prova CP2



Fonte: Autor (2019).

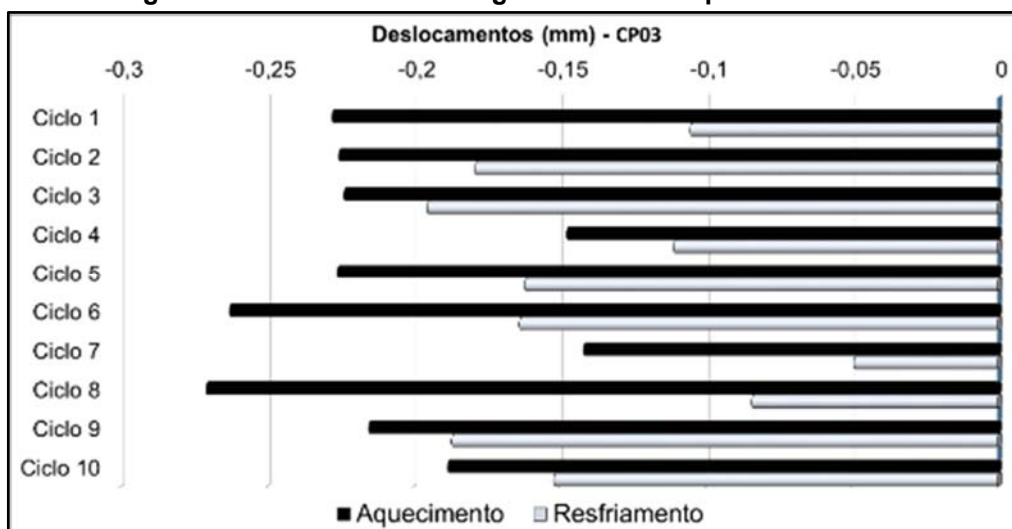
Os deslocamentos horizontais medidos em cada ciclo, aos 45 minutos de aquecimento e imediatamente após o resfriamento, nos corpos de prova com área aquecida de 100x100cm, podem ser observados na Tabela 18, na Figura 66 (CP3), e na Figura 67 (CP04).

Tabela 18 - Deslocamentos horizontais dos corpos de prova CP3 e CP4

CICLO	CP 03		CP 04		H (mm)	LIMITE H/300 (mm)
	AQUEC. (mm)	RESFR. (mm)	AQUEC. (mm)	RESFR. (mm)		
1	-0,228	-0,105	-0,289	-0,218	1000	3,333
2	-0,225	-0,179	-0,210	-0,141		
3	-0,224	-0,195	-0,194	-0,110		
4	-0,147	-0,111	-0,231	-0,142		
5	-0,226	-0,162	-0,189	-0,102		
6	-0,263	-0,163	-0,220	-0,100		
7	-0,142	-0,049	-0,096	-0,050		
8	-0,271	-0,084	-0,112	-0,094		
9	-0,215	-0,187	-0,162	-0,107		
10	-0,188	-0,152	0,018	-0,030		
11			-0,156	-0,042		
12			-0,178	-0,072		
13			-0,158	-0,073		
14			-0,067	-0,010		
15			-0,136	-0,083		
16			-0,182	-0,100		
17			-0,099	-0,125		
18			-0,198	-0,127		
19			-0,211	-0,222		
20			-0,145	-0,096		

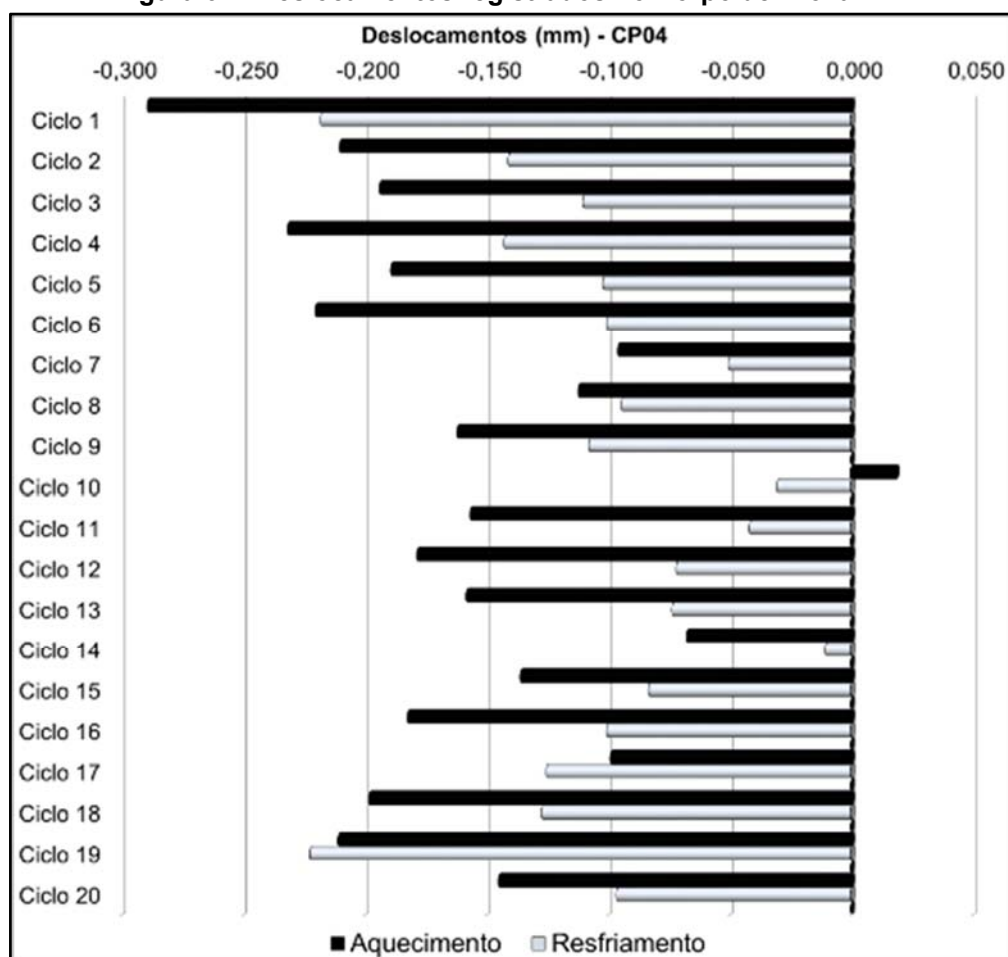
Fonte: Autor (2019).

Figura 66 - Deslocamentos registrados no Corpo de Prova CP3



Fonte: Autor (2019).

Figura 67 - Deslocamentos registrados no Corpo de Prova CP4



Fonte: Autor (2019).

Considerando este critério de avaliação, os corpos de prova ensaiados nesta pesquisa estão aprovados, uma vez que o deslocamento máximo atingido em todos

os ciclos para os corpos de prova maiores foi de 0,328mm, comparado com o valor limite de 7,33mm ($H/300$, $H=2200\text{mm}$). Da mesma forma, para os corpos de prova menores, o deslocamento horizontal máximo de 0,289mm não atingiu o limite de 3,33mm ($H/300$; $H=1000\text{mm}$).

Entretanto, afirmou-se estatisticamente, tanto pelo teste ANOVA quanto pelo teste de hipóteses (Teste-T), que serão apresentados nos itens seguintes deste trabalho, que o único fator que influencia nos valores dos deslocamentos horizontais, entre os critérios estabelecidos pela norma, é a altura do corpo de prova. Portanto, pode-se afirmar que os corpos de prova com tamanhos diferentes, ensaiados na presente pesquisa, têm comportamentos distintos quando submetidos aos ensaios de ação de calor e choque térmico e por este motivo, seus deslocamentos não devem ser avaliados com o mesmo parâmetro, conforme determina a NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

5.3 INSPEÇÃO VISUAL

Conforme recomendado pela ABNT NBR 15.575-4:2013, as superfícies dos corpos de prova, em ambas as faces, foram observadas durante os experimentos, a cada ciclo e ao término de cada ensaio. Além disso, as superfícies dos corpos de prova foram também inspecionadas aos 7 dias e aos 14 dias, após a finalização dos ensaios. Fissuras com espessura de 0,05mm e comprimentos variados surgiram após a aplicação dos choques térmicos, nas faces frontais de todos os corpos de prova. Ressalta-se que foi feita a inspeção após a projeção da argamassa não apresentando fissuras antes da aplicação do acabamento em pintura acrílica. O Quadro 11 apresenta a evolução das ocorrências na superfície dos corpos de prova CP1 e CP4, submetidos a 20 ciclos de choque térmico.

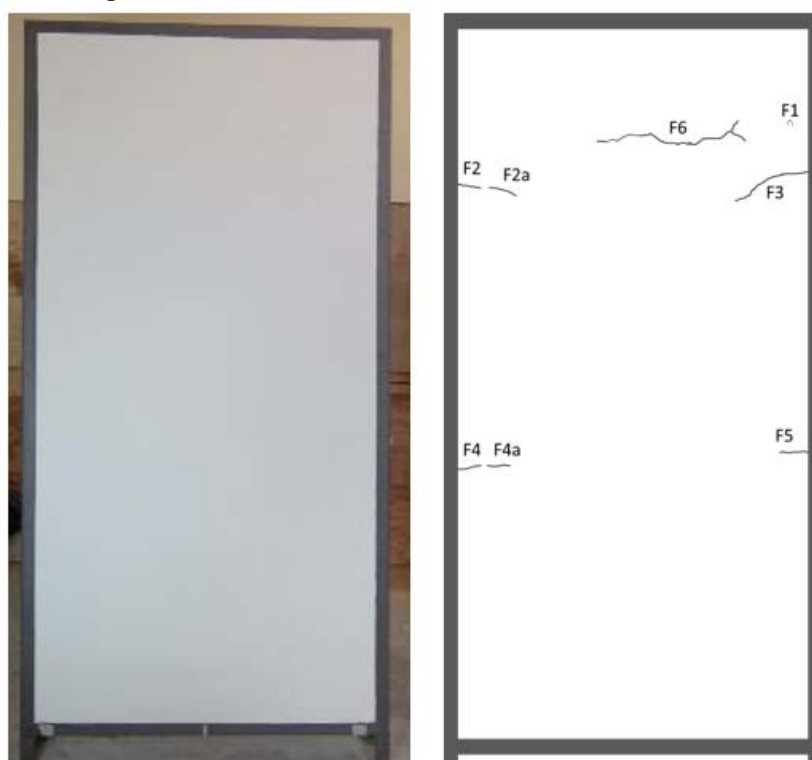
Quadro 11 - Evolução das ocorrências na superfície dos corpos de prova CP1 e CP4.

CP	Ocor- rências	Quando surtiu	Características iniciais	Após 10 Ciclos	Após 20 Ciclos	Após 07 Dias	Após 14 Dias
CP1	F1	Ciclo 2	Microfissura em formato de U, e=0,5mm, dimensões de 1x1cm	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações
	F2	Ciclo 6	Microfissura e=0,5mm L=7,5cm	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações
	F2a	Ciclo 16	Microfissura e=0,5mm L=5,5cm	-	L=9cm	Sem alterações	Sem alterações
	F3	Ciclo 6	Microfissura e=0,5mm L=5cm	Sem alterações	L=27cm Obs: No ciclo 16: 15cm	Sem alterações	L=31cm
	F4	Ciclo 6	Microfissura e=0,5mm L=7cm	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações
	F4a	Ciclo 16	Microfissura e=0,5mm L=4cm	-	L=6cm	Sem alterações	Sem alterações
	F5	Ciclo 6	Microfissura e=0,5mm L=12cm	Aumentou para 13cm	Aumentou para 15cm	Sem alterações	Sem alterações
CP4	F6	Ciclo 13	Microfissura e=0,5mm L=50cm	-	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações
	F1	Ciclo 16	Microfissura e=0,5mm L=12cm	-	L=12cm	Sem alterações	Sem alterações
	F2	Ciclo 16	Microfissura e=0,5mm L=10,5cm	-	L=10,5cm	Sem alterações	Sem alterações
	F3	Ciclo 17	Microfissura e=0,5mm L=4cm	-	L=4cm	L=6,5cm	Sem alterações
	Fn..	Após 14 dias	20 Microfissuras e=0,5mm L=3 a 7cm	-	-	-	L=3 a 7cm

Fonte: Autor (2019).

Os registros das fissuras durante a inspeção aos 14 dias após os 20 ciclos aplicados aos corpos de prova CP1 e CP4, podem ser observados nos desenhos esquemáticos apresentados na Figura 68 e Figura 69, respectivamente.

Figura 68 - Identificação das fissuras do CP1 aos 14 dias

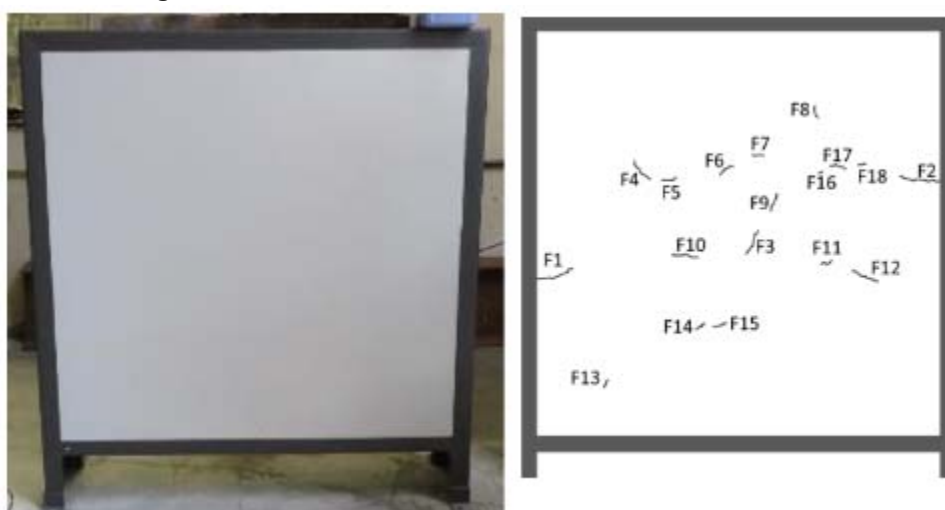


a) Face frontal do CP1

b) Esquema das fissuras do CP1

Fonte: Autor (2019).

Figura 69 - Identificação das fissuras do CP4 aos 14 dias



a) Face frontal do CP4

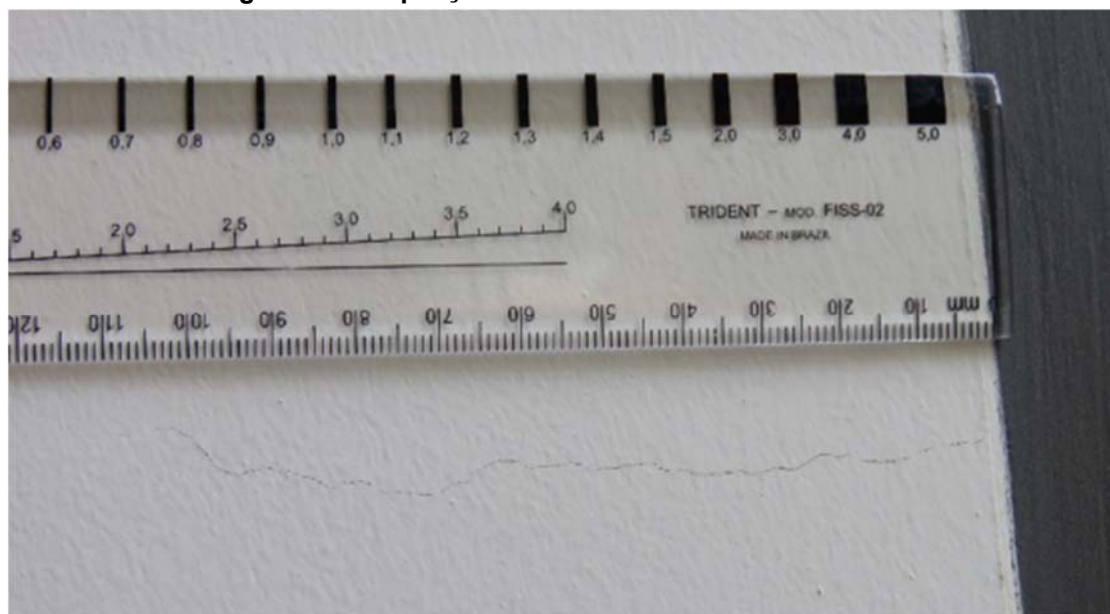
b) Esquema das fissuras no CP4

Fonte: Autor (2019).

A Figura 70 apresenta de forma ampliada uma ocorrência (fissura F2) na superfície do corpo de prova CP4, registrada aos 14 dias após o término dos ensaios.

Esta fissura tem espessura de 0,05mm assim como as demais e pode ser observada na Figura 71.

Figura 70 - Ampliação da fissura F2 do CP4 aos 14 dias



Fonte: Autor (2019).

Figura 71 - Espessura da fissura F2 do CP4 aos 14 dias



Fonte: Autor (2019).

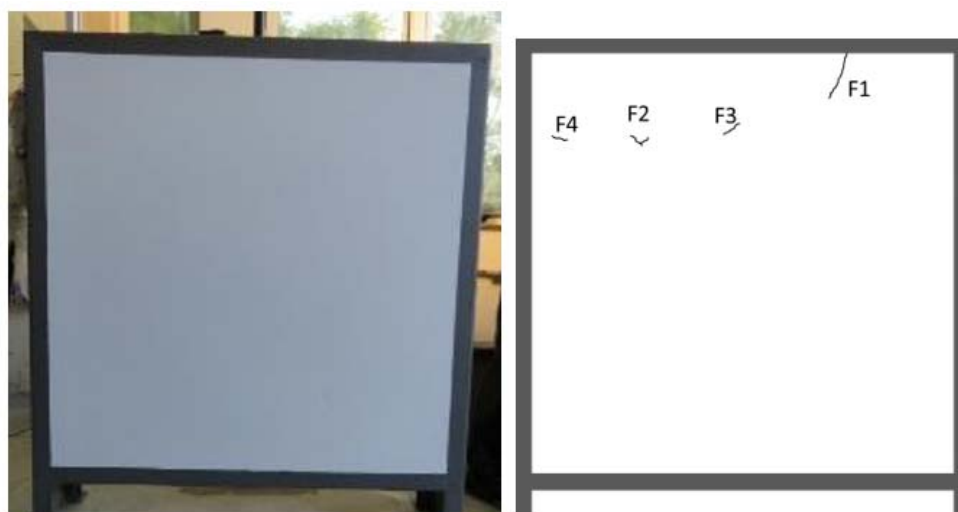
O Quadro 12 apresenta a evolução das ocorrências na superfície dos corpos de prova CP2 e CP3, submetidos a 10 ciclos de choque térmico.

Quadro 12 - Evolução das ocorrências na superfície dos corpos de prova CP2 e CP3.

CP	Ocorrências	Quando surgiu	Características iniciais	Após 10 Ciclos	Após 07 Dias	Após 14 Dias
CP2	F1	Ciclo 1	Microfissura e=0,5mm L=10cm	L=20cm	Sem alterações	Sem alterações
	F2	Ciclo 1	Microfissura e=0,5mm L=7,5cm	L=14cm	Sem alterações	Sem alterações
	F3	Ciclo 1	Microfissura e=0,5mm L=10,5cm	Sem alterações	L=14cm	Sem alterações
	F4	Ciclo 1	Microfissura e=0,5mm L=7,5cm	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações
	F5	Após 14 dias	Microfissura e=0,5mm L=3cm	-	-	L=3cm
CP3	F1	Ciclo 8	Microfissura e=0,5mm L=9,5cm	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações
	F2	Após 7 dias	Microfissura forma de Y e=0,5mm L=6cm	-	Microfissura forma de Y e=0,5mm L=6cm	Sem alterações
	F3	Após 14 dias	Microfissura e=0,5mm L=4,5cm	-	-	L=4,5cm
	F4	Após 14 dias	Microfissura e=0,5mm L=3cm °	-	-	L=3cm

Fonte: Autor (2019).

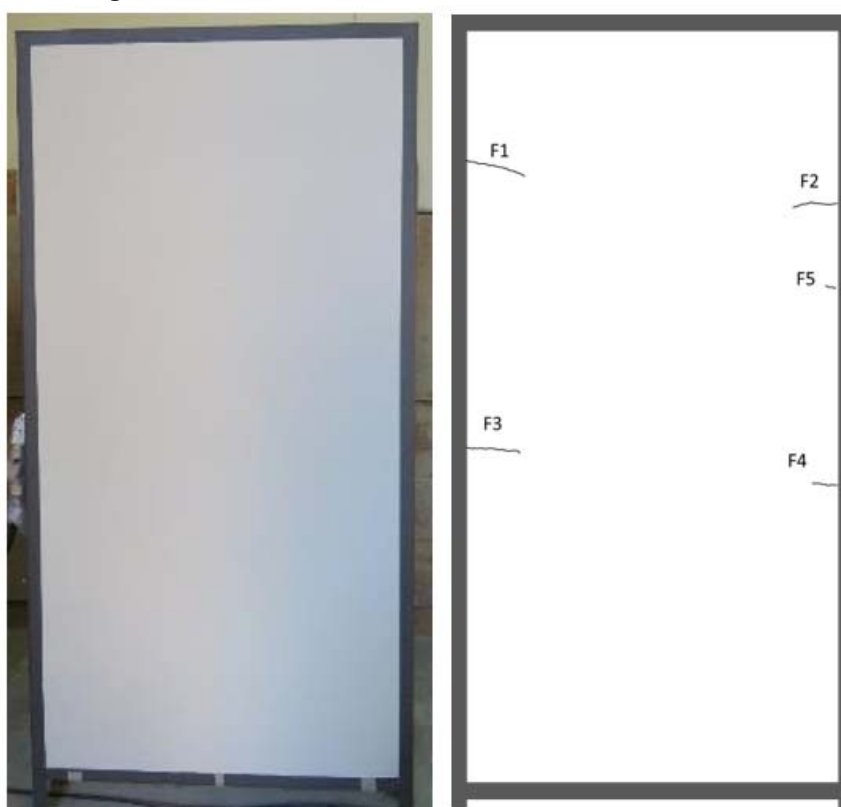
Os registros das fissuras durante a inspeção aos 14 dias após os 10 ciclos aplicados aos corpos de prova CP3 e CP2, podem ser observados nos desenhos esquemáticos apresentados na Figura 72 e Figura 73, respectivamente.

Figura 72 - Identificação das fissuras do CP3 aos 14 dias

a) Face frontal do CP3

b) Esquema das fissuras do CP3

Fonte: Autor (2019).

Figura 73 - Identificação das fissuras do CP2 aos 14 dias

a) Face frontal do CP2

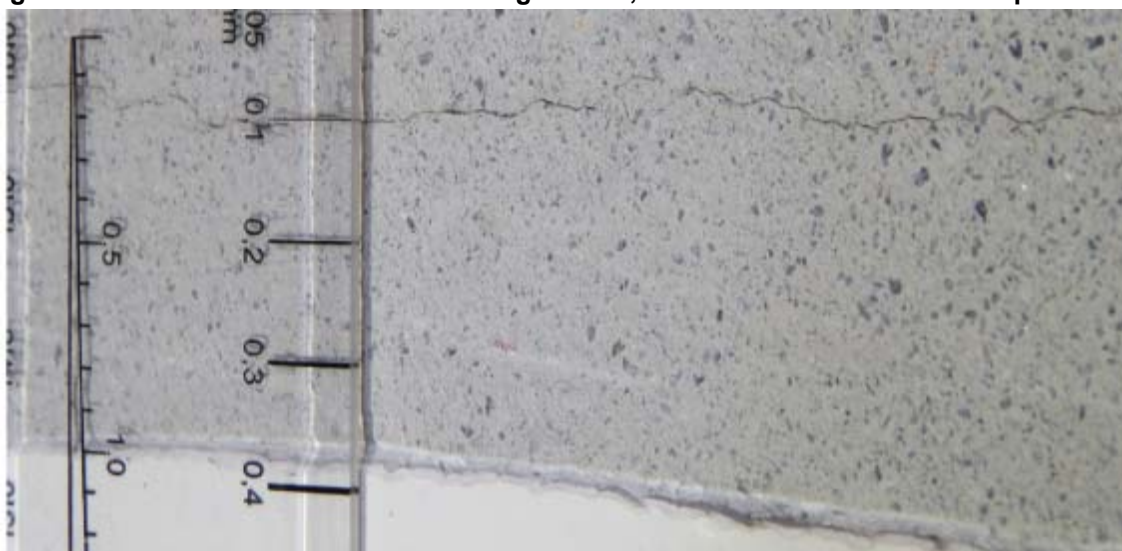
b) Esquema das fissuras do CP2

Fonte: Autor (2019).

As inspeções foram realizadas observando sempre a superfície externa dos corpos de prova, que receberam acabamento com massa acrílica e pintura acrílica. No entanto, investigou-se também se as fissuras ocorreram superficialmente, atingindo somente a camada do sistema de pintura (massa e tinta). Para isso foram realizados dois procedimentos, sendo o primeiro a remoção do sistema de pintura e o segundo a extração de um corpo de prova com utilização de serra copo, sobre a região da fissura.

Ao remover a camada do sistema de pintura observou-se que as fissuras atingiram também o revestimento em argamassa, porém com espessura de 0,1mm, conforme mostra a Figura 74, maior que a espessura de 0,05mm das fissuras apresentadas na superfície pintada.

Figura 74 - Fissura no revestimento em argamassa, sob a camada do sistema de pintura.



Fonte: Autor (2019).

No segundo procedimento, ao extrair corpos de prova com diâmetro de 5cm, identificou-se que as fissuras atingiram toda a espessura do revestimento em argamassa, conforme apresentado na Figura 75, no entanto não foram observadas no substrato.

Figura 75 - Fissura da espessura total do revestimento



Fonte: Autor (2019).

Outra ocorrência observada durante as inspeções visuais no decorrer da realização dos ensaios, refere-se ao aparecimento de umidade nas superfícies dos corpos de prova CP1, após o 5º ciclo na extremidade inferior da face oposta e após o 10º ciclo no canto inferior da face frontal. A Figura 76 indica a região com umidade no

CP1 após 20 ciclos, no entanto, conforme observa-se no Quadro 13, na inspeção aos 14 dias após o término dos ensaios, não havia mais sinal de umidade.

Quadro 13 - Ocorrência de umidade no CP1

Evolução	Umidade Face Oposta	Umidade Face Frontal
Quando surgiu	Ciclo 5	Ciclo 10
Características iniciais	Umidade na extremidade inferior do CP, com altura variando de 14cm (canto esquerdo) até 0cm, comprimento de 100cm	Umidade no canto inferior direito da face frontal do CP, com 9cm (L) x 6cm (H)
Após 10 Ciclos	Altura da umidade variou de 20cm (canto esquerdo) a 8cm (canto direito), na largura total (130cm) do CP.	Umidade no canto inferior direito da face frontal do CP, com 9cm (L) x 6cm (H)
Após 20 Ciclos	Altura da umidade variou entre 25cm (canto esquerdo, 20cm (ao centro) e 22cm (canto direito), na largura total (130cm) do CP.	A umidade no canto inferior direito aumentou para 12cm (L) x 10cm (H)
Após 07 Dias	Altura da umidade variou entre 45cm (canto esquerdo, 25m (ao centro) e 30cm (canto direito), na largura total (130cm) do CP. Obs.: O CP estava protegido com uma lona, foi destampado e no outro dia a umidade começou a desaparecer.	Altura média de 23cm ao centro e 30cm nos cantos. Obs.: O CP estava protegido com uma lona, foi destampado e no outro dia a umidade começou a desaparecer.
Após 14 Dias	Sem presença de umidade	Sem presença de umidade

Fonte: Autor (2019).

Figura 76 - Umidade no CP01 após 20 ciclos



Fonte: Autor (2019).

Esta umidade pode ter originado por infiltrações nas fissuras e no encontro do perfil metálico com a alvenaria, por meio da percolação da água pelos blocos

cerâmicos devido a sua porosidade. A água pode ter escorrido até a extremidade inferior do corpo de prova e depois subido por capilaridade. A umidade surgiu apenas no CP1, que além de ter maior área de exposição aos jatos de água, foi submetido a 20 ciclos térmicos. No demais corpos de prova, a umidade não ocorreu.

5.4 ADERÊNCIA

Neste item serão apresentados os principais resultados obtidos com os ensaios de resistência de aderência à tração dos revestimentos, realizados conforme prescrições da ABNT NBR 13.528:2010. Os dados completos dos ensaios em cada corpo de prova, encontram-se detalhados em planilha apropriada e podem ser verificados no Apêndice C.

A resistência de aderência à tração dos revestimentos, foi verificada antes e após a submissão dos corpos de prova aos ensaios de ação de calor e choque térmico. O corpo de prova CP05, não foi submetido ao ensaio de choque térmico, portanto, seus testes de aderências foram considerados como testemunho para a comparação com os demais corpos de prova (CP01, CP02, CP03 e CP04) submetidos aos ciclos térmicos.

Conforme recomendações da ABNT NBR 13.528:2010, os cortes foram executados de forma aleatória, porém, apesar da impossibilidade da identificação prévia das juntas, os ensaios contemplaram arrancamentos tanto nos blocos quanto nas juntas. Os percentuais dos locais de ensaio nos 05 corpos de prova, assim como as formas de ruptura dos revestimentos podem ser observados na Tabela 19.

Tabela 19 - Formas de rupturas e local do ensaio

Corpos de Prova	Forma de ruptura(%)					Local do ensaio	
	Substrato	Substrato/ Argamassa	Argamassa	Cola / Argamassa	Cola	Bloco	Junta
CP 01	86,67%	9,17%	4,17%	0,00%	0,00%	66,67%	33,33%
CP 02	21,25%	45,42%	0,00%	16,67%	16,67%	50,00%	50,00%
CP 03	26,25%	32,50%	22,08%	8,33%	10,83%	72,73%	27,27%
CP 04	38,75%	19,58%	0,00%	8,33%	33,33%	75,00%	25,00%
CP 05 (padrão)	15,00%	60,00%	8,33%	0,00%	16,67%	50,00%	50,00%

Fonte: Autor (2019).

Para o cálculo das médias das tensões foram desprezados os arrancamentos com rupturas abaixo do limite estabelecido pela norma (0,3 MPa) e as rupturas na cola, porém, foram consideradas no mínimo de 8 extrações. Os valores médios das tensões de resistência de aderência à tração dos revestimentos dos corpos de prova ensaiados, conforme observa-se na Tabela 20 ficaram acima do limite de 0,3 MPa estabelecido pela ABNT NBR 13.528:2010.

Tabela 20 - Tensões obtidas no ensaio de resistência de aderência à tração

Corpos de Prova	Nº de Amostras	Tensão Ra (MPa)				Coeficiente de Variação (%)
		Máxima	Mínima	Média	Desvio Padrão	
CP 01	10	0,74	0,32	0,47	0,13	28,55%
CP 02	8	0,59	0,36	0,51	0,08	15,98%
CP 03	8	0,57	0,30	0,42	0,11	26,42%
CP 04	8	0,61	0,30	0,47	0,11	24,16%
CP 05	9	0,59	0,30	0,42	0,11	25,45%

Fonte: Autor (2019).

Apesar dos cortes para o ensaio de aderência serem executados à seco, a umidade do revestimento no momento do ensaio, foi verificada em laboratório, por meio da determinação dos coeficientes de absorção de água em 3 amostras extraídas de cada corpo de prova. Conforme observa-se na Tabela 21, o teor médio de umidade dos revestimentos ensaiados, variou de 2,15 a 2,91%.

Tabela 21 - Coeficientes de absorção de água

Corpos de Prova	Nº de Amostras	Absorção de água (%)				Coeficiente de Variação (%)
		Máxima	Mínima	Média	Desvio Padrão	
CP 01	3	2,87	2,32	2,52	0,31	12,18%
CP 02	3	2,43	1,68	2,15	0,41	19,05%
CP 03	3	3,03	2,79	2,91	0,12	4,07%
CP 04	3	3,20	1,84	2,62	0,71	26,92%
CP 05	3	2,49	2,28	2,41	0,11	4,45%

Fonte: Autor (2019).

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerando os parâmetros e os critérios de avaliação de desempenho dos SVVE em relação ao requisito de durabilidade, os corpos de prova ensaiados nesta pesquisa são aprovados pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d). No entanto, na presente pesquisa procurou-se compreender se há diferença no comportamento dos corpos de prova com dimensões distintas, quando submetidos aos ciclos térmicos.

Neste capítulo serão apresentadas as análises dos resultados obtidos durante a realização dos experimentos desta pesquisa. Para análise estatística dos dados, quando aplicável, foi utilizado o *software* R Core Team (2018).

6.1 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES

Inicialmente os dados foram analisados estatisticamente, por meio do teste de Análise de Variância (ANOVA), para verificar se há diferença entre os valores de deslocamentos, quando correlacionados à altura dos corpos de prova e ao número de ciclos aplicados, considerando duas hipóteses:

- H_0 : Não existe diferença entre os deslocamentos em cada uma das situações.
- H_1 : Existe diferença em pelo menos uma das situações.

Como passo inicial da análise estatística, os dados foram analisados por meio do teste de Análise de Variância, apresentado no Apêndice D. Para este teste foram estabelecidos como fatores: (i) Altura do corpo de prova (110 cm – P; 250 cm – G); (ii) quantidade de ciclos (de 1 a 10 – ciclo base; de 11 a 20 – ciclo estendido); e (iii) fase do ciclo (aquecimento – A; resfriamento – R). Como característica de interesse foi escolhido o valor do deslocamento normalizado em função da altura do corpo de prova.

Nesta análise, a altura do corpo de prova ($p = 1.274e-13$ ***) e a fase do ciclo ($p = 3.635e-14$ ***) demonstraram ter alta significância na diferença entre as médias do deslocamento. A quantidade de ciclos ($p = 0.03851$ *) e a interação entre altura e quantidade de ciclos (0.04673 *) possuem significância para a diferença entre as médias. O resultado do ANOVA é exibido no Quadro 14.

Quadro 14 - Análise de Variância Geral

Analysis of Variance Table						
Response: res						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
alt	1	0.0118465	0.0118465	71.2221	1.274e-13	***
cic	1	0.0007294	0.0007294	4.3853	0.03851	*
fa	1	0.0125277	0.0125277	75.3174	3.635e-14	***
alt:cic	1	0.0006727	0.0006727	4.0442	0.04673	*
alt:fa	1	0.0000279	0.0000279	0.1680	0.68272	
cic:fa	1	0.0000045	0.0000045	0.0273	0.86911	
alt:cic:fa	1	0.0001061	0.0001061	0.6381	0.42610	
Residuals	112	0.0186292	0.0001663			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Fonte: R Core Team (2018).

Para tentar entender a influência de cada fator sobre o deslocamento, realizou-se nova análise de variância, separando-se as fases de aquecimento e resfriamento, que, por suas próprias características, podem influenciar diretamente no valor do deslocamento sofrido pelos corpos de prova.

Esta nova execução do ANOVA, realizada com separação dos dados de acordo com a fase (aquecimento / resfriamento) demonstrou que, isolando-se a fase, apenas a altura dos corpos de prova possui significância sobre a diferença entre as médias dos deslocamentos. Assim, a quantidade de ciclos deixa de ter significância para a diferença entre as médias conforme exibido no Quadro 15 e no Quadro 16 .

Quadro 15 - Análise de Variância na fase de aquecimento

Analysis of Variance Table						
Response: res						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
alt	1	0.0053619	0.0053619	30.8891	7.871e-07	***
cic	1	0.0003094	0.0003094	1.7826	0.18723	
alt:cic	1	0.0006566	0.0006566	3.7826	0.05682	.
Residuals	56	0.0097209	0.0001736			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Fonte: R Core Team (2018).

Quadro 16 - Análise de Variância na fase de resfriamento

Analysis of Variance Table						
Response: res						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
alt	1	0.0065125	0.0065125	40.9394	3.393e-08	***
cic	1	0.0004245	0.0004245	2.6686	0.1080	
alt:cic	1	0.0001222	0.0001222	0.7682	0.3845	
Residuals	56	0.0089083	0.0001591			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Fonte: R Core Team (2018).

A fim de confirmar os resultados obtidos no ANOVA, foram realizados testes de hipóteses (teste T), para verificar se a média entre os dados das amostras é significativamente diferente. Os dados das amostras, com os valores de deslocamentos normalizados, encontram-se organizados na Tabela 22, referente à fase de aquecimento e na Tabela 23 à fase de resfriamento.

Tabela 22 - Deslocamentos normalizados na fase de aquecimento (mm)

CICLOS	AMOSTRAS			
	CP01	CP02	CP04	CP03
1	0,0374	0,0361	0,0867	0,0683
2	0,0447	0,0347	0,0630	0,0676
3	0,0433	0,0408	0,0581	0,0671
4	0,0427	0,0298	0,0694	0,0442
5	0,0455	0,0297	0,0567	0,0677
6	0,0347	0,0285	0,0660	0,0788
7	0,0225	0,0286	0,0287	0,0425
8	0,0284	0,0281	0,0336	0,0812
9	0,0341	0,0300	0,0485	0,0645
10	0,0295	0,0337	0,0055	0,0564
11	0,0331		0,0469	
12	0,0278		0,0535	
13	0,0353		0,0474	
14	0,0407		0,0202	
15	0,0385		0,0407	
16	0,0401		0,0546	
17	0,0383		0,0296	
18	0,0423		0,0594	
19	0,0340		0,0632	
20	0,0333		0,0434	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 23 - Deslocamentos normalizados na fase de resfriamento (mm).

CICLOS	AMOSTRAS			
	CP01	CP02	CP04	CP03
1	0,0261	0,0434	0,0653	0,0315
2	0,0117	0,0109	0,0422	0,0536
3	0,0099	0,0154	0,0330	0,0585
4	0,0092	0,0103	0,0427	0,0332
5	0,0144	0,0088	0,0305	0,0485
6	0,0177	0,0101	0,0301	0,0490
7	0,0099	0,0138	0,0150	0,0147
8	0,0141	0,0030	0,0282	0,0252
9	0,0154	0,0117	0,0322	0,0560
10	0,0105	0,0206	0,0091	0,0455
11	0,0019		0,0125	
12	0,0062		0,0215	
13	0,0081		0,0220	
14	0,0107		0,0031	
15	0,0027		0,0249	
16	0,0225		0,0301	
17	0,0166		0,0375	
18	0,0220		0,0381	
19	0,0143		0,0667	
20	0,0123		0,0289	

Fonte: Autor (2019).

Nos itens seguintes serão apresentadas as análises dos testes de hipóteses (teste-T) para confirmação dos resultados quanto à influência da altura dos corpos de prova e do número de ciclos aplicados, sobre os valores dos deslocamentos. Além disso serão analisados também com base estatística, os resultados obtidos com as inspeções visuais e com os ensaios de aderência à tração dos revestimentos,

6.2 DESLOCAMENTOS

O parâmetro de H/300 estabelecido pela norma como critério de avaliação dos deslocamentos horizontais, não se difere em função das dimensões dos corpos de prova utilizados para realização do ensaio. Assim, a fim de confirmar os resultados obtidos com a análise geral pelo ANOVA, que identificou que as alturas dos corpos de prova influenciam nos deslocamentos horizontais, os dados foram analisados estatisticamente, comparando os valores obtidos nos ensaios dos corpos de prova

maiores com os menores. Para isso foram realizados testes de hipóteses (teste T) para verificar se a média entre duas amostras é significativamente diferente.

Para os cálculos estatísticos definiu-se o nível de confiança de 95%, onde o valor-p deve ser inferior a 0,05 para que seja rejeitada a hipótese nula de que as médias das amostras são iguais, sendo consideradas duas hipóteses.

- i. Hipótese nula (H_0): não há diferença entre as médias das duas amostras comparadas, ou seja, não há diferença no comportamento dos corpos de prova de tamanhos diferentes, em relação ao parâmetro estabelecido para o limite de deslocamentos horizontais, quando submetidos ao ensaio de choque térmico.
- ii. Hipótese alternativa (H_1): considera-se que há diferença entre as médias das duas amostras comparadas.

Após organização das amostras, foram definidas as combinações para realização dos testes para análise estatística dos deslocamentos horizontais em função da altura dos corpos de prova ensaiados, conforme apresentado no Quadro 17. Para confirmar que as médias dos valores de deslocamento horizontal do corpo de prova só apresentaram variação em função de sua altura, conforme resultados apontados na análise geral feita por Análise de Variância, procurou-se confrontar os dados de corpos de prova em tamanhos diferentes, quando submetidos a mesma situação.

Quadro 17 - Combinações para análise dos deslocamentos horizontais x altura do CP

SIMULAÇÕES	FASE	COMPARATIVO
1	AQUECIMENTO	CP1 e CP2 X CP3 e CP4, nos 10 primeiros ciclos térmicos.
2		CP1 X CP4, ambos com 20 ciclos térmicos.
3		CP2 X CP3, ambos com 10 ciclos térmicos.
4		CP1, CP2 X CP3 e CP4, com todos os ciclos
5	RESFRIAMENTO	CP1 e CP2 X CP3 e CP4, nos 10 primeiros ciclos térmicos.
6		CP1 X CP4, ambos com 20 ciclos térmicos.
7		CP2 X CP3, ambos com 10 ciclos térmicos.
8		CP1 e CP2 ,X CP3 e CP4, com todos os ciclos.

Fonte: Autor (2019).

Para o nível de confiabilidade de 95%, quanto mais afastado o valor p obtido estiver do limite (0,05), maior será a significância da conclusão indicada.

Após realização dos testes de hipóteses, em todas as simulações, o Valor-P ficou abaixo de 0,05, conforme apresentado no Quadro 18, indicando a rejeição da hipótese nula. Assim, podemos concluir que, em todos os oito casos analisados, a média dos deslocamentos dos corpos de 110 cm é diferente da média dos deslocamentos dos corpos de 250 cm.

Deve ser ressaltado que todos os corpos de prova foram aprovados quanto ao quesito deslocamento conforme exposto no item 6.2. Os relatórios dos testes T, realizados em cada simulação para análises da influência da altura dos corpos de prova nos valores dos deslocamentos horizontais, encontram-se detalhados no Apêndice E e confirmam os resultados apresentados na análise de variância pelo ANOVA.

Quadro 18 - Análise estatística dos deslocamentos horizontais x altura dos corpos de prova

SIMULAÇÕES	FASE	P-VALOR	Média da 1ª Amostra	Média da 2ª Amostra
1	AQUECIMENTO	8,294E-06	0,0341	0,0577
2		7,601E-03	0,0363	0,0488
3		6,529E-07	0,0320	0,0638
4		1,32E-06	0,0348	0,0537
5	RESFRIAMENTO	9,112E-07	0,0144	0,0372
6		4,062E-05	0,0128	0,0307
7		2,107E-04	0,0148	0,0416
8		4,09E-08	0,01347	0,0343

Fonte: Autor (2019).

6.3 NÚMERO DE CICLOS

Pela análise geral, no teste ANOVA, identificou-se que o número de ciclos não exerce influência sobre os resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico.

Para confirmar o resultado da ANOVA, esta pesquisa também avaliou estatisticamente por meio de testes de hipóteses, conforme relatórios apresentados no Apêndice F, se o número de ciclos influenciou nos valores de deslocamentos horizontais medidos durante os ensaios de choque térmico. Foram adotados os mesmos critérios para realização dos testes de hipóteses para análise dos deslocamentos em função das dimensões dos corpos de prova. Neste caso, foram consideradas duas hipóteses:

- i. Hipótese nula (H_0): não há diferença entre as médias das duas amostras comparadas, ou seja, o deslocamento horizontal dos corpos de prova quando submetidos ao ensaio de choque térmico, não altera em função do número de ciclos térmicos.
- ii. Hipótese alternativa (H_1): considera-se que há diferença entre as médias das duas amostras comparadas.

As combinações para os testes de análise estatística dos deslocamentos horizontais em função do número de ciclos aplicados, foram definidas procurando confrontar os dados de corpos de prova de dimensões iguais, quando expostos a números de ciclos diferentes, conforme apresentado no Quadro 19.

Quadro 19 - Combinações para análise dos deslocamentos horizontais x número de ciclos

SIMULAÇÃO	FASE	COMPARATIVO
1	RESFRIAMENTO	CP1 com 20 ciclos X CP2 10 ciclos
2		CP1 com 10 ciclos iniciais X CP2 10 ciclos
3		CP1 com 10 ciclos finais X CP2 10 ciclos
4		CP4 com 10 ciclos iniciais X CP3 10 ciclos
5		CP4 com 10 ciclos finais X CP3 10 ciclos
6		CP4 com 20 ciclos X CP3 com 10 ciclos
7	AQUECIMENTO	CP1 com 20 ciclos X CP2 com 10 ciclos
8		CP1 com 10 ciclos iniciais X CP2 com 10 ciclos
9		CP4 com 20 ciclos X CP3 com 10 ciclos
10		CP4 com 10 ciclos X CP3 com 10 ciclos
11		CP1 com 10 ciclos finais X CP2 10 ciclos
12		CP4 com 10 ciclos finais X CP3 10 ciclos

Fonte: Autor (2019).

Durante a fase de resfriamento, em nenhuma das simulações realizadas o Valor-P ficou abaixo de 0,05, conforme pode ser observado no Quadro 20. Nestas situações não se pode rejeitar a hipótese nula, portanto, o número de ciclos não exerceu influência sobre os resultados dos deslocamentos na fase de resfriamento.

Quadro 20 - Análise estatística dos deslocamentos horizontais X número de ciclos

SIMULAÇÕES	FASE	P-VALOR	Média da 1ª Amostra	Média da 2ª Amostra
1	RESFRIAMENTO	0,5318	0,0128	0,0148
2		0,8181	0,0139	0,0148
3		0,4722	0,0117	0,0148
4		0,2112	0,0328	0,0416
5		0,0831	0,0285	0,0416
6		0,0821	0,0307	0,0416
7	AQUECIMENTO	0,0583	0,03630	0,0320
8		0,1454	0,03628	0,0320
<u>9</u>		0,0304	0,0488	0,0638
10		0,1653	0,0516	0,0638
11		0,0376	0,03633	0,0320
12		0,0065	0,0459	0,0638

Fonte: Autor (2019).

Na fase de aquecimento, foram testadas duas combinações com os 2 corpos de prova grandes (CP1 e CP2), sendo a primeira (Simulação 7) com número de ciclos diferentes (20 x 10) e a segunda (Simulação 8) com a mesma quantidade de ciclos (10 primeiros ciclos). Os testes-T realizados nestas simulações resultaram em valor-P acima de 0,05 o que indica que a hipótese nula não pode ser rejeitada (não há diferença entre as médias das duas amostras comparadas). Isto indica que o número de ciclos não influenciou nos valores dos deslocamentos, como apontado no teste ANOVA.

No entanto, as mesmas combinações foram realizadas com os corpos de prova pequenos, e os resultados apresentaram-se diferentes. O teste-T realizado na Simulação 9, com amostras dos corpos de prova pequenos (CP04 com 20 ciclos X CP03 com 10 ciclos) resultaram em valor-P abaixo de 0,05, enquanto na Simulação 10, com a mesma quantidade de ciclos (10 primeiros) o valor-P ficou acima de 0,05.

Assim, considerando os valores de deslocamentos obtidos com os ensaios realizados nesta pesquisa, pode-se afirmar estatisticamente, que há indícios de que a alteração do número de ciclos de 10 para 20, influenciou nos valores dos deslocamentos dos corpos de prova menores, ao contrário dos corpos grandes que não apresentaram diferenças.

A NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) determina que cada corpo de prova seja submetido a 10 ciclos de aquecimento seguidos de resfriamento brusco durante os ensaios de ação de calor e choque térmico. No entanto, ao analisar as simulações realizadas com as amostras dos deslocamentos na fase de aquecimento, percebe-se

que há indícios de que dependendo da altura do corpo de prova, o número de ciclos pode influenciar nos valores dos deslocamentos e conseqüentemente no resultado do ensaio, o que reforça a necessidade da norma prescrever limites para a altura do corpo de prova ensaiado.

6.4 INSPEÇÃO VISUAL

Além do critério de avaliação dos SVVE's quanto aos valores máximos de deslocamentos horizontais dos corpos de prova, a NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) determina que não devem ser identificadas falhas ou quaisquer ocorrências nas superfícies das vedações, quando expostos à ação de calor e choque térmico. Além disso, a norma determina que as inspeções sejam realizadas durante e após o ensaio.

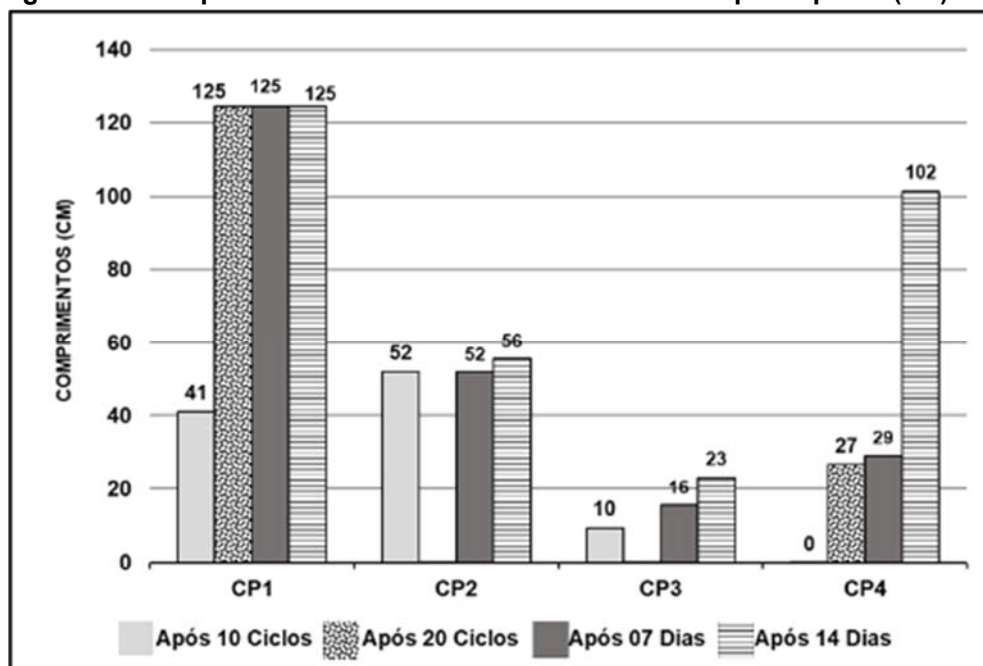
Apesar da norma não especificar em detalhes os procedimentos, critérios e parâmetros para esta inspeção, as superfícies dos corpos de prova foram inspecionadas a cada ciclo, após 10 ciclos, após 20 ciclos (CP1 e CP4) e após sete e 14 dias após o término do ensaio. Em todos os corpos de prova houveram ocorrências de fissuras com espessura de 0,05mm, com comprimentos variados, medidos e registrados a cada inspeção das superfícies dos corpos de prova. A ocorrência destas fissuras é devida provavelmente às condições de contorno utilizadas, uma vez que os corpos de prova foram construídos dentro de um pórtico metálico.

Entre a inspeção ao final dos ensaios, determinada pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) e a inspeção realizada após 14 dias, percebeu-se aumento no tamanho de algumas fissuras e o surgimento de outras fissuras. No corpo de prova CP04 após 10 ciclos de choques térmicos não foi identificada nenhuma ocorrência

Os corpos de prova submetidos a 20 ciclos de choques térmicos (CP01 e CP04), apresentaram comprimentos totais de fissuras, em números absolutos, maiores que os corpos de prova submetidos a 10 ciclos (CP02 e CP03), conforme era esperado (Figura 77).

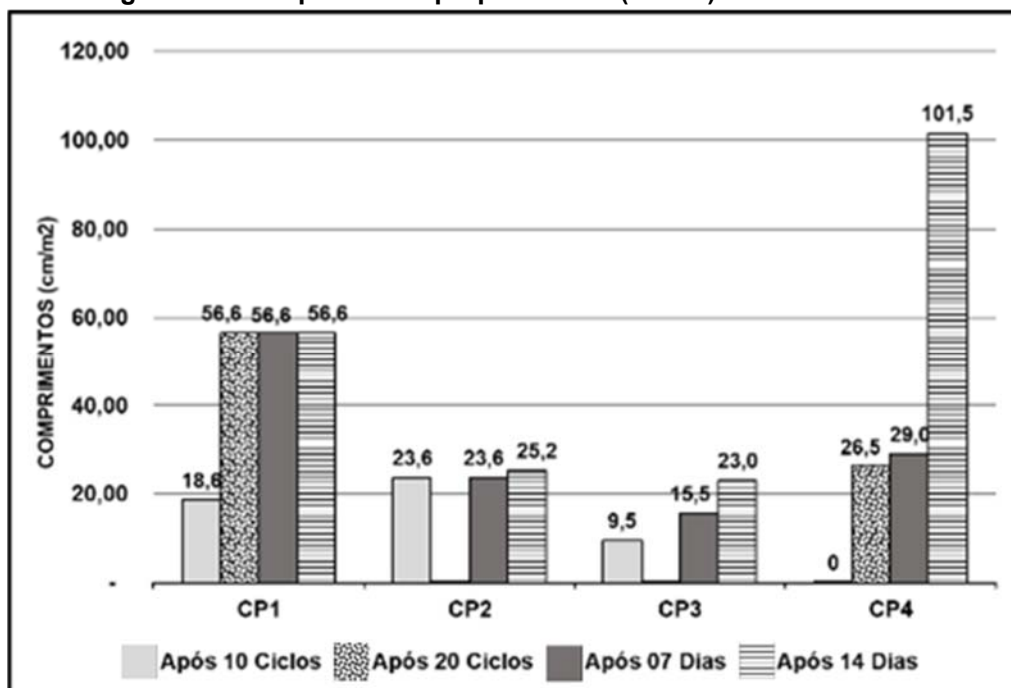
No entanto, para compreender a relação entre a quantidade de fissuras ocorridas com as dimensões dos corpos de prova, estabeleceu-se uma proporcionalidade em relação a área aquecida, conforme apresenta a Figura 78. Ainda assim, não se constata correlação entre as ocorrências e as dimensões dos corpos de prova.

Figura 77 - Comprimentos totais das fissuras em cada corpo de prova (cm)



Fonte: Autor (2019).

Figura 78 - Comprimentos proporcionais (cm/m²) das fissuras



Fonte: Autor (2019).

Por meio de cálculos estatísticos também não foram constatadas correlações entre a quantidade de fissuras ocorridas com os choques térmicos, com o número de ciclos e nem com as dimensões dos corpos de prova.

Foram selecionadas 6 amostras, apresentadas na Tabela 24, para realização do teste T em 4 combinações conforme apresenta o Quadro 21.

Quadro 21 - Simulações para estatística das fissuras

SIMULAÇÕES	DESCRIÇÃO
1	Comparativo entre 1 corpo de prova grande (CP1) X 1 corpo de prova pequeno (CP4), ambos submetidos a 20 ciclos, aos 14 dias.
2	Comparativo entre 1 corpo de prova grande (CP1) X 1 corpo de prova pequeno (CP4), ambos submetidos a 10 ciclos, aos 14 dias.
3	Comparativo entre as inspeções aos 14 dias e após 10 ciclos, com amostras de 2 corpos de prova (CP2+CP3).
4	Comparativo entre 1 corpo de prova grande (CP2) X 1 corpo de prova pequeno (CP3), após 10 ciclos.

Fonte: Autor (2019).

Tabela 24 - Comprimentos proporcionais (cm/m²) das fissuras

Amostras	CP1_14D	CP2_14D	CP3_14D	CP4_14D	CP23_10C	CP23_14D
1	1,3636	9,0909	9,5000	12,0000	9,0909	9,0909
2	3,4091	6,3636	6,0000	10,5000	6,3636	6,3636
3	4,0909	4,7727	4,5000	6,5000	4,7727	4,7727
4	12,2727	3,6364	3,0000	7,0000	3,4091	3,6364
5	3,1818	1,3636		4,5000		1,3636
6	2,7273			6,0000		
7	6,8182			4,0000		
8	22,7273			3,5000		
9				6,0000		
10				9,0000		
11				4,0000		
12				7,5000		
13				4,5000		
14				4,0000		
15				5,0000		
16				1,0000		
17				4,0000		
18				2,5000		

Fonte: Autor (2019).

Todos os testes T realizados resultaram em valor-P acima de 0,05 conforme pode ser observado na Tabela 25. Isto indica que a hipótese nula (igualdade das médias) não pode ser rejeitada. Assim, os cálculos estatísticos indicam que não há indícios de que as fissuras (e seu comprimento) são influenciadas pelo número de ciclos ou

pela dimensão dos corpos de prova. Os testes de hipóteses detalhados, para cada combinação de análise das fissuras, podem ser visualizados no Apêndice G.

Tabela 25 - Análise estatística da quantidade de fissuras.

SIMULAÇÕES	VALOR-P	Média da 1ª Amostra	Média da 2ª Amostra
1	0,4632	7,0739	5,6389
2	0,7236	5,0455	5,7500
3	0,4128	6,6273	5,3586
4	0,2797	5,9091	9,5000

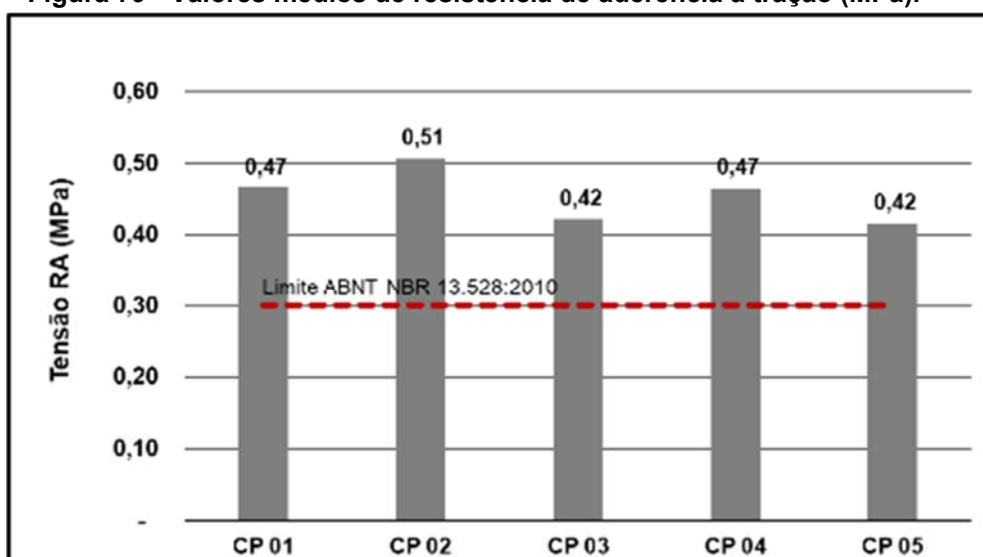
Fonte: Autor (2019).

6.5 ADERÊNCIA

Após a submissão dos corpos de prova aos ensaios de choque térmico conforme método prescrito pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), não houve perda da resistência de aderência à tração dos revestimentos, independentemente do número de ciclos em que os corpos de prova foram submetidos.

O corpo de prova utilizado como testemunho (CP5), que não foi submetido ao choque térmico, atingiu valor médio da resistência de aderência à tração de 0,42MPa, atendendo ao valor mínimo de 0,30MPa exigido pela NBR 13.528:2010 (ABNT, 2010). Os demais corpos de prova, apresentaram valores médios de resistência igual ou acima do valor obtido no corpo de prova testemunho (CP5), conforme observa-se na Figura 79.

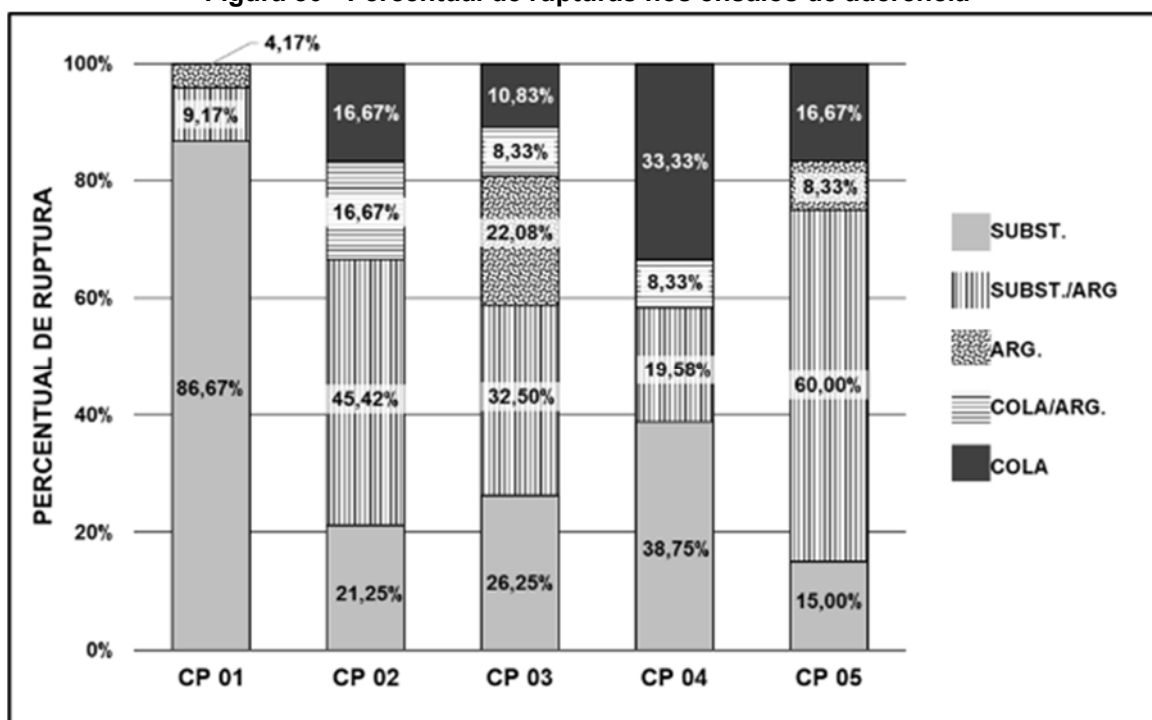
Figura 79 - Valores médios de resistência de aderência à tração (MPa).



Fonte: Autor (2019).

Em relação à forma de ruptura, conforme observa-se na Figura 80, no corpo de prova testemunho predominou-se o rompimento na interface entre o substrato e argamassa na ordem de 60%. O percentual de ocorrência desta forma de ruptura foi reduzido de acordo com o número de ciclos aplicados e nos corpos de prova submetidos a 20 choques térmicos este percentual reduziu para 9,17% (CP1) e 19,58% (CP4).

Figura 80 - Percentual de rupturas nos ensaios de aderência



Fonte: Autor (2019).

Por outro lado, observa-se que os percentuais de ocorrência de rupturas no substrato tiveram aumento significativo de 38,75% (CP04) e 86,67% (CP01), quando comparados com os 15% registrados no corpo de prova testemunho (CP05), o que indica que os ciclos de aquecimento e resfriamento podem ter influenciado na forma de ruptura.

Apesar das diferenças nas formas de ruptura, nenhum dos corpos de prova ensaiados tiveram suas integridades comprometidas, em relação a resistência de aderência dos revestimentos quando se compara os valores médios das tensões registradas nos ensaios.

A fim de complementar esta análise, foram realizados cálculos estatísticos, por meio de testes de hipóteses com 8 combinações diferentes, considerando como amostras as tensões de cada ruptura dos testes realizados.

O Quadro 22 apresenta as simulações realizadas e a Tabela 26, as amostras consideradas.

Quadro 22 - Simulações para o teste de hipóteses de resistência de aderência à tração

SIMULAÇÕES		Descrição
1	CP5 x CP2	Comparativo entre as resistências antes dos ciclos térmicos e após a submissão a 10 ciclos, em corpo de prova grande.
2	CP5 x CP3	Comparativo entre as resistências antes dos ciclos térmicos e após a submissão a 10 ciclos, em corpo de prova pequeno.
3	CP5 x CP1	Comparativo entre as resistências antes dos ciclos térmicos e após a submissão a 20 ciclos, em corpo de prova grande.
4	CP5 x CP4	Comparativo entre as resistências antes dos ciclos térmicos e após a submissão a 20 ciclos, em corpo de prova pequeno.
5	CP1 x CP2	Comparativo entre as resistências após 20 ciclos térmicos e após 10 ciclos, em corpo de prova grande.
6	CP4 x CP3	Comparativo entre as resistências após 20 ciclos térmicos e após 10 ciclos, em corpo de prova pequeno.
7	CP2 x CP3	Comparativo entre as resistências após 10 ciclos térmicos, em corpo de prova de dimensões diferentes.
8	CP1 x CP4	Comparativo entre as resistências após 20 ciclos térmicos, em corpo de prova de tamanhos diferentes.

Fonte: Autor (2019).

Tabela 26 - Valores das resistências de aderência à tração (MPa)

Amostras	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
1	0,3192	0,5676	0,3094	0,4120	0,4629
2	0,6416	0,5003	0,5728	0,6081	0,3107
3	0,7391	0,5599	0,5406	0,5904	0,3378
4	0,4928	0,4240	0,4403	0,4843	0,5896
5	0,4328	0,4950	0,3817	0,4089	0,4543
6	0,3271	0,3556	0,5144	0,3043	0,3246
7	0,4777	0,5895	0,3141	0,5569	0,4179
8	0,4177	0,5574	0,2987	0,3570	0,5409
9	0,4321				0,2965
10	0,3795				

Fonte: Autor (2019).

Os resultados dos testes-T em todas as combinações, apresentaram valor-P acima de 0,05, conforme observa-se na Tabela 27 e mais detalhes no Apêndice H, o que significa que a hipótese nula não pode ser rejeitada. Com isto, passamos a ter evidências que, nos corpos de prova ensaiados nesta pesquisa, não existe correlação entre os valores das resistências de aderência à tração dos revestimentos com a quantidade de ciclos e nem com as dimensões dos corpos de prova.

Tabela 27 - Análise estatística da resistência de aderência à tração

SIMULAÇÕES	P-VALUE	Média da 1ª Amostra	Média da 2ª Amostra
1	0,0668	0,4150	0,5062
2	0,9037	0,4150	0,4215
3	0,3719	0,4150	0,4660
4	0,3574	0,4150	0,4652
5	0,4649	0,5062	0,4660
6	0,4474	0,4215	0,4652
7	0,1039	0,5062	0,4215
8	0,9904	0,4660	0,4652

Fonte: Autor (2019).

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta as discussões com foco na análise da influência das dimensões dos corpos de prova sobre os resultados obtidos com os experimentos, além de analisar criticamente o método de ensaio proposto pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) para o ensaio de ação de calor e choque térmico nos SVVE's. Ressalta-se que as análises abordadas são válidas para SVVE's com características dos corpos de prova adotados nesta pesquisa, construídos em alvenaria, revestidos em argamassa projetada com acabamento em pintura acrílica.

7.1 DESLOCAMENTOS

Em todos os estudos da literatura consultada, o deslocamento horizontal dos corpos de prova durante o ensaio de ação de calor e choque térmico, não atingiu o valor limite de $H/300$ estabelecido pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d). O mesmo ocorreu nesta pesquisa em todos os ciclos, tanto na fase de aquecimento quanto de resfriamento, os valores absolutos dos deslocamentos horizontais não atingiram o limite normativo.

Conforme observa-se na Tabela 28, os valores absolutos máximos dos deslocamentos, apresentaram valores muito aquém do limite $H/300$, sendo 4,47% para os corpos de prova maiores e 8,67% para os menores. Nos corpos de prova com maiores dimensões a proporção é ainda menor.

Tabela 28 - Proporção entre os maiores deslocamentos e o limite $H/300$

Descrição	Corpos de prova	
	Grandes (CP1 e CP2)	Pequenos (CP3 e CP4)
Área Aquecida	2,20 m ²	1,00 m ²
Altura da área aquecida	2200 mm	1000 mm
Limite $H/300$	7,33 mm	3,33 mm
Maior deslocamento registrado	0,328 mm	0,289 mm
Proporção entre deslocamento e limite	4,47%	8,67%

Fonte: Autor (2019).

No entanto, a influência da altura do corpo de prova foi comprovada estatisticamente, tanto pela Análise de Variância (ANOVA) quanto por meio de testes de hipóteses, que constatarem diferença entre as médias dos deslocamentos horizontais, quando correlacionadas às duas dimensões de corpos de prova ensaiados.

Diante do exposto, constata-se que o parâmetro de H/300 estabelecido pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), pode gerar resultados diferentes para corpos de prova com alturas diferentes. Isto pode ser contornado com o estabelecimento de limites para a altura do corpo de prova, definidos de forma que os deslocamentos possam ser efetivamente comparados com o parâmetro.

7.2 NÚMERO DE CICLOS

Pesquisadores como Fernandes (2007) e Sentena, Kazmierczak e Krein (2018), adotaram quantidades diferentes de ciclos em seus estudos e concluíram que o número de ciclos não influenciou nos resultados dos seus ensaios.

Por meio dos cálculos estatísticos, nesta pesquisa verificou-se que há indícios de que, dependendo das dimensões do corpo de prova, o número de ciclos pode influenciar nos valores de deslocamentos horizontais. Os corpos de prova com altura de 250cm não demonstraram diferenças entre as médias das amostras submetidas a 10 ou 20 ciclos. No entanto, o mesmo não ocorreu com os corpos de prova com altura de 110cm.

Estes resultados evidenciam a necessidade da especificação de limites para a altura do corpo de prova.

7.3 INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual da superfície dos corpos de prova é um dos critérios estabelecidos pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), para avaliação de desempenho dos SVVE's quanto ao requisito de durabilidade, quando expostos à ação de calor e choque térmico.

De acordo com esta norma as superfícies dos corpos de prova devem ser inspecionadas durante e após os ensaios, e não devem apresentar falhas e defeitos, como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que comprometam a utilização do SVVE. No entanto, não define qual o limite ou a quantidade de defeitos que comprometa sua integridade, o que torna a avaliação subjetiva.

No estudo piloto realizado antes dos ensaios oficiais desta pesquisa, percebeu-se a ocorrência de fissuras após 13 dias de finalização dos ensaios. Nesta pesquisa, as superfícies dos corpos de prova foram inspecionadas ao longo do desenvolvimento

dos experimentos, após a aplicação de 10 e 20 ciclos térmicos e após o término dos ensaios aos 7 e 14 dias.

Durante as inspeções, foram identificadas fissuras com espessura de 0,05mm e comprimentos variados, nas superfícies de todos os corpos de prova ensaiados. Entende-se que as fissuras são fenômenos que ocorrem naturalmente nos materiais de construção ao se dilatarem ou contraírem. Neste caso, as fissuras originaram-se de movimentações térmicas devido as exposições a aquecimento ($80\pm3^{\circ}\text{C}$) seguido de resfriamento brusco ($20\pm3^{\circ}\text{C}$) e também em função das condições de contorno dos corpos de prova.

Além disso, os corpos de prova ensaiados caracterizam-se como estrutura mista, ao utilizar alvenaria de vedação em bloco cerâmico, estruturados com perfis metálicos. Esta condição de contorno vai acontecer na vida real, pois todas as paredes são restringidas. Assim, como é comum o surgimento de fissuras nas estruturas mistas, as fissuras próximas à moldura do perfil podem ter sido originadas pela movimentação entre os dois tipos de materiais, e não somente em função do efeito do choque térmico.

Entretanto, considera-se que tais fissuras não comprometeram o desempenho dos SVVE's em estudo, uma vez que são quase imperceptíveis a olho nu. O registro das fissuras só foi possível com utilização de iluminação artificial com 1800lux e câmera fotográfica com zoom de 65x.

Outro fator a ser considerado no aparecimento das fissuras relaciona-se com o fato de que, os corpos de prova receberam acabamento com massa acrílica e pintura com 02 demãos de tinta acrílica. Tais materiais, devido a suas propriedades elásticas, podem ter contribuído com a proteção das superfícies das paredes, tornando-as mais flexíveis e impermeáveis.

Este acabamento em pintura acrílica foi escolhido por representar um SVVE acabado. De acordo com a NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) o corpo-de-prova deve ser constituído por um trecho de parede acabada, executada com os detalhes construtivos a serem empregados em obra.

Com relação a quantidade de fissuras, ao comparar o número de fissuras ou os comprimentos totais em cada corpo de prova, não se constatou proporcionalidade com as dimensões dos corpos de prova ou com o número de ciclos térmicos a que foram submetidos.

No entanto, percebeu-se que os comprimentos das fissuras aumentaram ou surgiram novas, entre a inspeção após o término dos ensaios recomendada pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) e a inspeção realizada aos 14 dias.

Evidencia-se a necessidade da norma especificar os procedimentos para a realização das inspeções visuais, incluindo as distâncias mínimas de observação, nível de iluminação e forma de registro das ocorrências. Além disso, sugere-se que as inspeções sejam realizadas após o término dos ensaios, pelo menos aos 14 dias e que sejam definidos os critérios de aceitação das ocorrências, considerando as características técnicas dos SVVE.

7.4 ADERÊNCIA

O sistema de vedação em estudo está representado por corpos de prova compostos por substrato de bloco cerâmico, com revestimento em argamassa projetada mecanicamente, sem aplicação de chapisco sobre a base e com acabamento final em pintura acrílica sobre massa acrílica apropriada para ambientes externos. Nestes corpos de prova, as resistências de aderência à tração dos revestimentos, não foram prejudicadas em função da submissão dos mesmos ao ensaio de ação de calor e choque térmico.

Um dos fatores que pode justificar os resultados positivos desta pesquisa, refere-se à aplicação da argamassa por projeção mecânica. Segundo Zanellato *et al* (2013) a utilização desta metodologia executiva proporciona um acréscimo significativo da resistência de aderência à tração, em comparação à aplicação manual.

No entanto, segundo Carasek (2012) há vários fatores que devem ser considerados ao analisar o resultado dos ensaios de aderência dos revestimentos com projeção mecânica, como as características dos materiais do substrato, da argamassa, as condições climáticas e a energia de aplicação.

Além disso, a análise dos resultados deve ser complementada com a observação das formas de ruptura. Na presente pesquisa, percebeu-se que, antes da aplicação dos choques térmicos prevaleceu-se o rompimento na interface entre a argamassa e o substrato. Após os ciclos térmicos a ruptura dominante ocorreu no substrato e não no revestimento, o que indica que as argamassas resistem a valores de tensões maiores que o atingido nos ensaios.

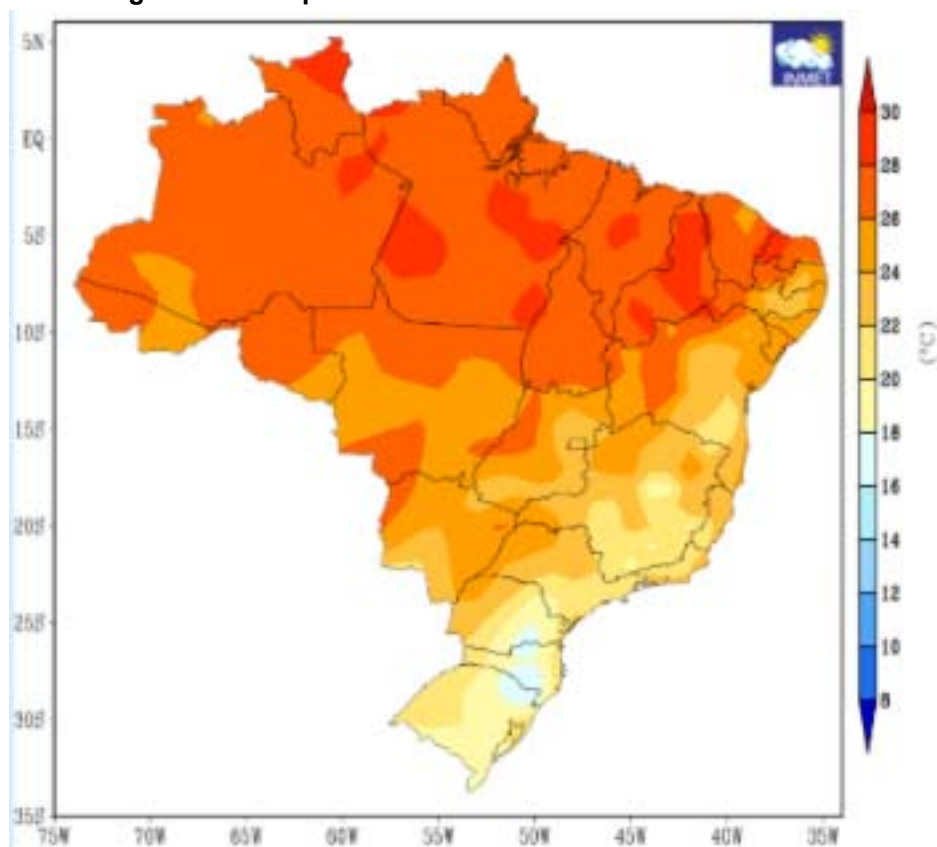
Por meio dos cálculos estatísticos, constatou-se que nem a altura dos corpos de prova e nem a quantidade de ciclos térmicos aplicados, influenciaram nos valores das resistências de aderência à tração dos revestimentos.

7.5 CICLOS TÉRMICOS

A norma de desempenho brasileira determina como parâmetro para realização do ensaio de ação de calor e choque térmico, que as superfícies dos corpos de prova sejam aquecidas a temperatura de $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ e resfriadas até atingirem $20\pm 3^{\circ}\text{C}$. No entanto, durante os testes que antecederam a realização dos ensaios, percebeu-se que a superfície das vedações não atingem $20\pm 3^{\circ}\text{C}$, quando a temperatura ambiente for superior a este valor. Isto evidenciou a necessidade do resfriamento da água (realizado com a adição de gelo) para que os ensaios fossem realizados conforme prescritos pela norma.

O Brasil, por ser um país continental e tropical, apresenta temperaturas ambientes que variam entre regiões, conforme pode ser visto na Figura 81.

Figura 81 - Temperaturas médias observadas em 2017



Fonte: INMET (2019)

A Tabela 29 apresenta os valores médios das temperaturas máximas nos estados brasileiros, ao longo do ano, durante os últimos 10 anos, baseado nos dados das estações do INMET localizadas em cada capital. Exceto para Mato Grosso do Sul (MS), que foram adotados os dados da estação de Ponta Porã.

Tabela 29 - Valores máximos das temperaturas médias registradas nos últimos 10 anos.

UF	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
AC	30,8	30,7	31,1	31,5	30,9	30,7	32,0	33,7	34,2	33,3	32,2	31,3	34,2
AL	31,1	31,2	31,6	30,9	29,6	28,7	27,9	28,2	28,9	30,2	31,1	31,4	31,6
AM	31,8	31,2	31,6	31,8	31,9	32,5	32,9	34,4	34,9	34,6	33,7	32,3	34,9
AP	31,3	30,6	30,7	31,1	31,7	32,2	32,5	33,2	33,6	34,2	33,9	32,6	34,2
BA	31,0	31,3	31,3	29,7	27,8	27,0	26,6	26,7	27,7	29,2	30,0	30,8	31,3
CE	31,4	31,2	31,2	31,0	31,1	31,1	31,0	31,4	31,7	31,9	32,0	31,9	32,0
DF	27,3	27,8	27,7	27,1	26,4	25,8	26,2	28,1	29,9	29,5	27,2	27,3	29,9
ES	31,9	32,5	31,7	30,1	28,2	27,3	27,0	27,2	28,1	28,5	29,1	30,8	32,5
GO	31,1	31,6	31,4	31,6	30,9	30,5	31,2	33,1	34,9	33,8	31,3	31,1	34,9
MA	31,6	31,1	30,9	31,1	31,5	31,9	32,0	32,5	32,9	33,0	33,2	32,7	33,2
MG	29,2	29,4	28,6	27,4	25,7	25,1	25,2	26,7	28,5	28,9	27,9	28,6	29,4
MS	30,8	30,9	30,3	28,5	25,1	23,5	24,2	26,9	28,6	29,5	30,6	31,3	31,3
MT	33,1	32,8	33,4	33,3	32,0	31,6	32,4	35,1	36,7	35,6	34,1	33,5	36,7
PA	31,8	31,3	31,6	31,8	32,6	32,9	33,0	33,5	33,6	33,6	33,8	32,9	33,8
PB	31,1	31,4	31,7	31,3	30,6	29,8	29,0	29,3	29,7	30,5	31,0	31,3	31,7
PE	30,9	31,1	31,3	30,7	29,8	28,8	28,0	28,2	28,8	30,0	31,0	31,3	31,3
PI	33,0	32,7	32,6	32,5	32,7	33,2	34,1	36,0	37,6	37,8	36,6	35,7	37,8
PR	27,1	27,6	25,8	24,3	21,1	19,5	19,8	21,9	23,2	23,7	25,0	26,9	27,6
RJ	33,4	34,5	31,8	30,5	28,4	27,1	27,2	28,1	28,7	29,2	29,9	32,3	34,5
RN	30,4	30,6	30,8	30,5	30,0	29,1	28,5	28,9	29,1	29,7	30,2	30,4	30,8
RR	34,0	34,4	34,9	34,5	33,3	33,0	32,8	34,2	35,6	36,5	35,8	34,5	36,5
RS	31,2	31,3	28,8	26,8	22,7	19,7	20,1	22,4	23,4	25,3	28,1	30,3	31,3
SC	29,8	30,1	28,6	27,1	24,0	21,9	21,1	22,1	23,0	24,4	26,5	28,7	30,1
SE	30,9	30,9	31,1	30,7	29,8	29,0	28,4	28,3	28,8	29,6	30,1	30,7	31,1
SP	28,7	29,9	28,1	26,6	23,6	22,6	23,1	24,5	26,2	26,6	27,1	28,9	29,9
TO	31,9	32,1	32,3	33,2	34,7	35,5	36,2	37,9	38,0	35,8	33,2	32,7	38,0

Fonte: Elaborado pelo autor com dados do INMET (2019).

Conforme os dados do INMET, somente entre os meses de maio a setembro, em Curitiba (PR), Porto Alegre (RS), Florianópolis (SC) e São Paulo (SP), a média das temperaturas máximas ficaram abaixo de 20°C, possibilitando a realização do ensaio de choque térmico conforme prescrito pela norma, sem necessidade de resfriamento prévio da água para aspersão. Nas demais épocas do ano, nestas capitais não seria

possível a realização do ensaio sem o resfriamento prévio da água, o que ocorre nas demais regiões em todos os meses.

Com base nos dados do INMET, os maiores valores de temperatura média por mês registrados no período variaram de 29,4°C a 38°C. Ressalta-se que estes valores correspondem às temperaturas máximas médias, portanto, os valores temperaturas ambientes máximas serão sempre superiores. Em Belo Horizonte, por exemplo, a temperatura ambiente chegou a 33,6°C durante a realização dos ensaios da presente pesquisa no mês de dezembro, enquanto a temperatura máxima média indicada pelo INMET corresponde a 28,6°C para o mesmo mês.

A NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) determina o valor de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ como referência para o resfriamento da superfície do corpo de prova, assim como $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ para o seu aquecimento, porém, não há no texto da norma justificativas para a adoção de tais valores. Na literatura consultada não foram encontrados indícios ou justificativas para tais parâmetros (limites de temperatura).

Diante do exposto cumpre questionar o estabelecimento de um limite inferior bem distanciado das características climáticas de nossas regiões ($20\pm 3^{\circ}\text{C}$). Não se questiona o delta de temperatura ao qual o corpo de prova deve ser submetido (60°C), mas sim o limite inicial de temperatura para a execução do ensaio.

Em relação aos instrumentos para aferição das temperaturas, a NBR 15.575-4:2013 (ABNT 2013d) determina que sejam utilizados 05 termopares, sendo 04 posicionados nas extremidades e um ao centro. No entanto, não está claro como os mesmos devem ser fixados na superfície do corpo de prova.

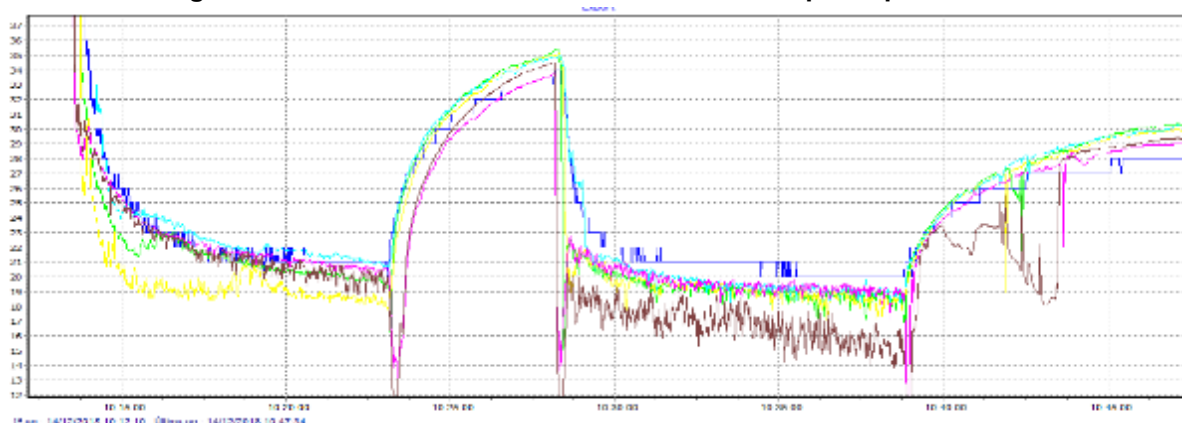
Na fase de aquecimento, durante os testes prévios realizados percebeu-se que, quando os ciclos são realizados de forma sucessiva, a água retida na superfície do corpo de prova continua escorrendo e pode influenciar na leitura das temperaturas pelos termopares quando os mesmos estão posicionados sobre a superfície do SVVE.

Durante a fase de resfriamento nos ensaios realizados, percebeu-se influência dos jatos de água sobre os termopares, nas aferições de temperatura da superfície dos corpos de prova.

Conforme pode ser observado na Figura 82, após o afastamento do painel radiante e início da fase de resfriamento com a aspersão de água (mantida por 10 minutos), a temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ foi atingida. Interrompida a aspersão de água, a temperatura do corpo de prova elevou-se para valores entre 33 e 35°C. O ciclo de resfriamento foi continuado com a aspersão de água por mais 10 minutos. Com isto,

os valores da temperatura superficial do corpo de prova registradas situaram-se entre 14 e 20° C, sendo o ciclo de resfriamento encerrado. Como era de se esperar, logo após o encerramento do ciclo, a temperatura superficial do corpo de prova voltou a elevar-se até atingir a temperatura ambiente.

Figura 82 - Resfriamento durante o Ciclo 07 do corpo de prova CP02



Fonte: Autor (2019).

Esta oscilação da temperatura da superfície das paredes com o afastamento dos jatos de água, aponta outro questionamento quanto ao método proposto pela norma, pois como a temperatura ambiente é normalmente superior a 20°C, não sabemos se a elevação da temperatura do corpo de prova é devido ao calor residual armazenado pelo corpo ou a absorção de calor do meio ambiente. Além disso, como não se consegue reproduzir o que a NBR 15.575 determina para execução dos testes em temperatura ambiente, a execução destes testes em ambiente totalmente controlado ou com utilização de câmara térmica dificulta extremamente o teste em laboratório e o inviabiliza em ambiente real.

Na fase de resfriamento a superfície do corpo de prova atingiu a temperatura mínima estabelecida pela norma em $20 \pm 3^\circ\text{C}$. No entanto, isso só foi possível com a adição de gelo na água a ser aspergida, uma vez que a água em temperatura ambiente esteve na maioria dos ciclos, acima desta faixa. Ressalta-se que no período de realização dos ciclos térmicos, a temperatura ambiente variou de 19,70°C a 33,60°C.

Além disso, ressalta-se também que, os resultados apresentados nesta pesquisa referem-se a ensaios com sistemas de vedação em alvenaria de bloco cerâmico com espessura de 20cm considerando os revestimentos em argamassa projetada

mecanicamente e com acabamento em sistema de pintura acrílica. Para sistemas de vedações utilizando outros materiais ou metodologias construtivas, o tempo de recuperação térmica do corpo de prova para restabelecer a temperatura ambiente, provavelmente será outro.

As temperaturas superficiais dos corpos de prova, medidas pelos termopares, também foram verificadas e confirmadas por meio de termômetro infravermelho, logo após o afastamento do painel radiante e após o afastamento do aspersor. A Figura 83 apresenta uma das medições após o afastamento do aspersor de água, com utilização de termômetro infravermelho. Percebe-se que a temperatura variou de 19,5 a 22°C em intervalo de um minuto.

Figura 83 - Início do resfriamento CP01 – Ciclo 09



Fonte: Autor (2019).

A construção do painel radiante teve que adotar soluções construtivas para minimizar o efeito da convecção de calor, aspecto não abordado pela norma e que dificulta a igual distribuição de calor pelo corpo de prova.

A divisão em duas zonas (com controles distintos) foi realizada com a inclusão de um separador físico, uma bandeja móvel instalada no painel em altura correspondente à altura do corpo de prova menor (110 cm).

Assim, a instalação dos ventiladores para a circulação forçada do ar se mostrou mais eficiente, ainda que a temperatura não se manteve totalmente uniforme sobre a área do corpo de prova, em $80 \pm 3^\circ\text{C}$ conforme determina a norma, em todos os pontos foram registrados os valores mínimos exigidos.

Diante do exposto, considera-se que foi atendida a variação brusca de temperatura proposta pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), equivalente a 60°C , de forma a simular variações climáticas.

Entretanto, sugere-se que a norma contemple os detalhes construtivos do painel de aquecimento, com inclusão do sistema auxiliar de ventilação forçada, a fim de padronizar o ensaio e torná-lo mais eficiente.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

O presente capítulo apresenta as considerações finais, após análise dos resultados obtidos com os experimentos da presente pesquisa, comprovando o atendimento a todos os objetivos propostos para seu desenvolvimento.

São também apresentadas sugestões para o desenvolvimento de novos estudos, a fim de aprofundar e/ou confirmar os resultados alcançados, assim como explorar outras questões sobre o tema, para contribuir com a evolução do método de ensaio de ação de calor e choque térmico proposto pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) para definir se um sistema de vedação vertical externo atende aos requisitos de desempenho quanto a durabilidade.

8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos diversos estudos da literatura consultada, não há registro de nenhuma pesquisa com aplicação de ensaios de choque térmico, na qual foi evidenciado o surgimento de falhas significativas nem que o parâmetro de deslocamento horizontal estabelecido pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) tenha sido ultrapassado.

De forma similar, ao final dos experimentos desta pesquisa, pode-se concluir que, os SVVE em estudo, também atendem aos requisitos da NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), uma vez que não apresentaram deslocamentos horizontais acima do limite estabelecido ($H/300$) e nem apresentaram falhas ou defeitos que comprometam suas integridades.

No entanto, ao responder a pergunta que norteou os estudos desta pesquisa – “O ensaio de ação de calor e choque térmico prescrito pela NBR 15.575:2013-4 (ABNT, 2013d) apresenta os mesmos resultados quando aplicados em corpos de prova de diferentes dimensões?” - conclui-se estatisticamente que as alturas dos corpos de prova influenciam nos valores dos deslocamentos horizontais, apesar dos mesmos atenderem aos requisitos desta norma.

Desta forma, constatou-se que o parâmetro $H/300$ estabelecido pela norma como limite de aceitação para os deslocamentos horizontais dos SVVE's, não pode ser aplicado em corpos de prova com quaisquer dimensões. Com isto, atendeu-se o primeiro objetivo específico desta pesquisa: “Analisar estatisticamente a viabilidade de aplicação do parâmetro definido como valor limite para o deslocamento horizontal ($H/300$), em corpos de prova com alturas distintas”.

Com relação ao número de ciclos aplicados, vários pesquisadores relataram a adoção de ciclos críticos de aquecimento/resfriamento (ensaios com a adoção de mais de 30/40 ciclos) e não evidenciaram o surgimento de falhas ou deslocamentos muito mais significativos do que os existentes ao final de 10 ciclos. Para estes pesquisadores, o número de ciclos não é um fator relevante no ensaio de ação de calor e choque térmico proposto pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d).

Nesta pesquisa, foi evidenciado estatisticamente que o número de ciclos também não influenciou na quantidade de fissuras identificadas após os choques térmicos e nem no tamanho das mesmas.

No entanto, constatou-se estatisticamente que o número de ciclos pode influenciar nos valores de deslocamento quando analisados em corpos de prova com diferentes alturas. Desta forma, torna-se necessário a definição dos limites para a altura dos corpos de prova.

Com isto, o segundo objetivo desta pesquisa: *“Identificar variações de respostas dos diferentes corpos de prova, quanto ao número de ciclos térmicos especificados pela norma”, foi atendido.*

Quanto a resistência de aderência à tração dos revestimentos, constatou-se que não houve redução em seus valores após a exposição sucessiva à ação de calor e choque térmico, não afetando a integridade do SVVE em estudo, independentemente do número de ciclos submetidos. Desta forma, considera-se que o terceiro objetivo específico desta pesquisa: *“Verificar o efeito da ação do número de ciclos de calor e choque térmico sobre a resistência à aderência do revestimento em argamassa”, foi alcançado.*

No entanto, considera-se que a inclusão do ensaio de aderência conforme prescrito pela NBR 13.528:2010 (ABNT, 2010) complementa a análise do desempenho dos SVVE quanto a durabilidade.

O quarto objetivo específico desta pesquisa: *“Analisar a eficácia do critério de avaliação quanto a inspeção visual das superfícies dos corpos de prova, recomendado pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), com base nos resultados alcançados com os experimentos”, foi cumprido nos Itens 6.4 Apresentação dos resultados e 7.4 – Análise dos resultados.* Conclui-se que a inspeção visual proposta pela norma, por sua subjetividade pode dar margem a diversas interpretações, prejudicando sua eficácia ao avaliar o comprometimento da integridade do SVVE em teste, ao analisar apenas os defeitos aparentes na superfície do corpo de prova.

Ao atender os objetivos específicos, considera-se que foi alcançado o objetivo principal desta pesquisa: *“analisar estatisticamente se a altura dos corpos de prova e o número de ciclos aplicados, influenciam nos critérios e parâmetros estabelecidos no método de ensaio de ação de calor e choque térmico, recomendado pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d)”*.

Assim, há evidências que indicam ser necessário a especificação de limites para a altura do corpo de prova a ser avaliado, para uniformidade dos resultados obtidos e uma correta avaliação da durabilidade dos SVVE's.

Além disso, durante a realização dos experimentos foram identificados pontos importantes, que podem ser aprimorados neste método de ensaio, com destaque para os limites de temperatura ($80\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $20\pm 3^{\circ}\text{C}$) estabelecidos para o aquecimento e resfriamento respectivamente. Dadas as características das diversas regiões brasileiras, não seria mais viável, interessante e produtivo estabelecer a temperatura ambiente como limite inferior? Desta forma, para temperatura ambiente de 30°C por exemplo, a superfície do corpo de prova seria aquecida a 90°C e resfriada até voltar à temperatura ambiente. Este tipo de adequação, caso viável, eliminaria a necessidade de resfriamento da água, simplificando a execução do ensaio.

Por fim, diante de tais questionamentos, evidencia-se a necessidade de revisão dos critérios e métodos de ensaio propostos pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d) para o quesito durabilidade.

8.2 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Com base na experiência obtida com a realização desta pesquisa, propõe-se o desenvolvimento de novos estudos a fim de confirmar os resultados alcançados e contribuir com o avanço do método prescrito pela NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013d), para avaliar a durabilidade dos sistemas de vedações verticais externo de forma mais eficiente e com eficácia.

- I. Desenvolver estudos para avaliação da viabilidade de alteração dos limites estabelecidos de temperatura inicial e final (20/80) para temperatura ambiente e temperatura ambiente + 60°C .
- II. Aplicar o método de ensaio em corpos de prova que represente sistemas de vedações verticais construídos com outros materiais ou tecnologias, de preferência sistemas leves.

- III. Realizar estudos para melhorias no painel de aquecimento de forma a permitir uma maior homogeneidade da temperatura da superfície do corpo de prova, seja pela adoção novas fontes de calor radiante ou pela adoção sistemas forçados de distribuição do calor.
- IV. Desenvolver estudos para definição dos limites de dimensões (altura) dos corpos de prova em função da especificação do parâmetro limite para o deslocamento ($H/300$).

9. REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. M. de. **Introdução à metodologia do trabalho científico**: elaboração de trabalhos na graduação. 10ª. São Paulo. Atlas 2012. Recurso online ISBN 9788522478392.

ARAUJO, A; PAES, J. L. R.; VERÍSSIMO, G. S. **Sistemas de vedação em alvenaria para edifícios de estrutura metálica**: Detalhamento com base na prevenção de manifestações patológicas. *Gestão de Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 27-45, jul./dez. 2013. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v8i2.80961>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). 2002. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. Disponível em <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/ativos/279/manual-de-revestimentos-de-argamassa.html>. Acesso em 22/06/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.270-1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13.281**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15.575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 13.528**. Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas. Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 5.674**: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15.575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15.575-2**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15.575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **NBR 15.575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013d.

_____. **NBR 15.575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura. Rio de Janeiro, 2013e.

_____. **NBR 15.575-6**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 6: Sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013f.

_____. **NBR 13.749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013g.

_____. **NBR 14.037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2014.

Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (ASBEA). 2015. **Guia para arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575**. Disponível em http://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf. Acesso em 23/06/2018.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NORMA MERCOSUR NM 315**: Ensaio não destrutivos — Ensaio Visual — Requisitos e práticas recomendadas. 2017.

BARBOSA, A. S. **Estudo Numérico-Computacional e Analítico do Choque Térmico em Fachadas de Edificações**. 2013. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-11A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 275 p.

BARROS, M. M. B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. São Paulo, 1996. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BAUER, L. A. Falcão (Coord.). **Materiais de construção: concreto, madeira, cerâmica, metais, plásticos, asfalto: novos materiais para construção civil: volume 2**. 5 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008. v.2 ISBN 9788521610038 [v.2].

BENTO, Adegilson; NEVES, Daniely; PIRES, Juliane; OLIVEIRA, Mayara; SILVA, Dione. **A influência da NBR 15575 (2013) na durabilidade e vida útil das edificações residenciais**. Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural - UPE Universidade de Pernambuco, p. 11, 2016.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes; SABBATINI, Fernando Henrique. 2008. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2008.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard Edwin. **Fundamentos da termodinâmica**. São Paulo: Blucher, 2010. xviii, 461 p. (Série Van Wylen). ISBN 9788521204909.

BRASIL. **Lei nº. 8.078, de 11 de setembro de 1990**. Código de Defesa do Consumidor. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8078.htm.

BRITO, A.C; FABRICIO, M.M; VITTORINO, F (orgs). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação**. Porto Alegre: ANTAC, 2017. livro eletrônico 398 p. ISBN 978-85-5953029-2 Disponível em < http://editorascienza.com.br/pdfs/usp/978_85_5953_029_2_completo.pdf>. Acesso em 22/12/2017.

CARASEK, H. **Avaliação de Resultados do Ensaio de Resistência de Aderência de Revestimentos de Argamassa**. Téchné, v. 20, n. 185, jun. 2012.

CBIC - Câmara Brasileira da Construção Civil. **Catálogo de inovação na construção civil.** Câmara Brasileira da Construção Civil.- Brasília: CBIC, 2016. 137p.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil. **CBIC inicia estudo técnico para subsidiar a revisão da Norma de Desempenho.** Disponível em <<http://cbic.org.br/cbic-inicia-estudo-tecnico-para-subsidiar-a-revisao-da-norma-de-desempenho/>>. Acesso em 14/02/2018.

CESAR, Cristina Guimarães. **Desempenho estrutural de painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos.** 2007. 243 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, SC, 2007.

CIB - *Conseil International du Bâtiment*. Sobre o CIB: Missão. Disponível em <<http://www.pcc.usp.br/latinamericancib/missaocib.html>>. Acesso em 15/02/2018.

CRESCÊNCIO, Rosa; BARROS, Mércia. **A influência do choque térmico na resistência à tração do revestimento decorativo monocamada.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003. p. 1-12. Disponível em <<http://antigo.infohab.org.br/acervos/buscaautor/codigoAutor/70929>>. Acesso em 05/03/2018.

CRESCÊNCIO, R M. *et al.* **Execução de Revestimentos Com Argamassa Projetada.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., Salvador, 2000. Anais... Salvador: ANTAC, 2000. v. 2, p. 1067-1074. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/2000/Artigos/ENTAC2000_595.pdf. Acesso em: 05/03/2018.

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.

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.

FONTENELLE, J. H. **Aspectos críticos dos parâmetros aplicados no ensaio de choque térmico.** In: 1º Workshop de integração da rede de Pesquisas INOVATEC - FINEP, 2012, Pirassununga. Anais do 1o. Workshop de Integração rede INOVATEC - FINEP. São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2012. v. 1. p. 13-15.

FONTENELLE, J. H; MITIDIERI Filho, C. V. **Condições 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: ANTAC, 2016. Disponível em <http://docplayer.com.br/61107084-Condicoes-de-contorno-lateral-dos-corpos-de-prova-submetidos-ao-ensaio-de-acao-de-calor-e-choque-termico-1.html> Acesso em 13/03/2018.

FONTENELLE, J. H. *et al.* **Proposta de aprimoramento do ensaio de ação de calor e choque térmico na NBR 15.575.** In: BRITO, A.C; FABRICIO, M.M; VITTORINO, F (orgs). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras:** conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação. Porto Alegre: ANTAC, 2017. Disponível em

http://editorascienza.com.br/pdfs/usp/978_85_5953_029_2_capitulo_6.pdf. Acesso em 18/01/2018.

GEYER, R. M. T. **Influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato**. Porto Alegre. 1994. 104 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1994.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. Rio de Janeiro. Atlas, 2017. Recurso online ISBN 9788597012934.

GIORGI, P. **Avaliação de desempenho de sistema de vedação vertical de bloco de solo-cimento conforme NBR 15.575 referente à habitabilidade e sustentabilidade**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

GOMES, Abdias Maragalhães; CORTIZO, Eduardo Cabaleiro; MATTOS, Marianna Costa. 2012. **Planejamento da vida útil na construção civil: uma metodologia para a aplicação da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT:2008)**. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - 29 a 31 Outubro 2012 - Juiz de Fora.

GP-PPGEC/CEFET-MG. Grupo de Pesquisa: **Avaliação Crítica e Proposições de Melhorias no Ensaio de Durabilidade de Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE) Previsto na NBR 15.575:2013**. Rogério Cabral de Azevedo, Maria da Conceição Tavares, Gabriela Pereira Prates. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. Código de Práticas No 1. São Paulo, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo, IPT, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações e Dados – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em 10/01/2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). General Principles on the Design of Structures for Durability. **ISO 13823**. Geneva: ISO/TC, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Buildings and constructed assets -- Service life planning-- Part 1: General principles and framework. **ISO 15686**. Geneva: ISO/TC, 2011.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. S. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15.575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101, jan./jun. 2014. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89989>> Acesso em 18/02/2018.

LORENZI, L.S. **Análise Crítica e Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15.575 (2013) para Edificações Habitacionais de Interesse Social (HIS) Térreas**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia

Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, RS. Disponível em http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96630?locale=pt_BR.

MARCONI, M. A., LAKATOS, E.M.. **Metodologia do Trabalho Científico**. 8ª edição. Atlas, 2017. Recurso on line. Disponível em <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788597012408>.

MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios**. 2001. 235p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

MITIDIERI, Cláudio. **Soluções inovadoras. Inovações e SINAT**. Revista Notícias da Construção / Dezembro 2011.

MITIDIERI FILHO, C.V.; HELENE, P.R.L. - **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações**. Proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1998.

MORAN, Michael J. *et al.* **Introdução à engenharia de sistemas térmicos**: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor. Tradução de Carlos Alberto Biolchini da Silva. Rio de Janeiro: LTC, c2005. ix, 604 p. ISBN 9788521614463 (broch.).

OLIVEIRA, Luciana Alves de. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/T.3.2009.tde-08092010-125813. Acesso em: 2018-03-08.

OLIVEIRA, L.A.; FONTENELLE, J.H.; MITIDIERI FILHO, C.V. Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico, in **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre. ANTAC, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/45672>. Acesso confirmado em 15/06/2018.

OLIVEIRA, Luciana Alves; MITIDIERI FILHO, Claudio Vicente. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, Brasil, v. 7, n. 1, p. 90-100, june 2012. ISSN 1981-1543. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/51022>>. Acesso em: 03/06/2018. doi:<http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v1i1.208>.

PACHECO, I. G. O. **Avaliação crítica e proposições de melhorias no ensaio de durabilidade de sistemas de vedações verticais externas (SVVE) sob a ótica da NBR 15.575:2013**. 2016. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG.

PARAVISI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS.

PEREIRA, T. C. A. 2001. **Avaliação de desempenho de sistemas racionalizados de vedação para edifícios com estruturas metálicas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

POÇAS, João Pedro Marques. 2008. **Estudo do comportamento térmico e mecânico em paredes de alvenaria**. Dissertação do MIE. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. 2013. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. Revista Técnico-Científica do CREA-PR. ISSN 2358-5420 - 1ª edição – Outubro de 2013. Disponível em <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/view/14/10>. Acesso em 17/06/2018.

PRECON MATERIAL DE CONSTRUÇÃO. **Boletim Técnico. Massa Pronta. Argamassa de assentamento e revestimento**. Pedro Leopoldo, Janeiro a Dezembro, 2018.

R Core Team (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBAS, Mariana Coradi. **Retrofit de Plantas Didáticas de Instrumentação e Controle: Subprojeto Painel Radiante (Relatório Final PIBITI-CNPq)**. Departamento de Eletrônica e Biomédica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2018.

ROQUE, James Antonio. **O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos cerâmicos de vedação com função auto-portante: o caso da Habitação de Interesse Social**. 2009, 223p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017091328/>. Acesso em: 02/06/2018.

SALGADO, Julio Cesar Pereira. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 2. ed. , rev. São Paulo: Érica, c2009. 320 p., il. ISBN 978-85-3650218-2.

SANTOS, M. R. P. **Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção**. Revisão Bibliográfica. 2010. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60309/1/000143568.pdf>

SENTENA, J. A. A.; KAZMIERCZAK, C. de S.; KREIN, L. A. **Degradação de revestimentos de argamassa com finos de resíduos de concreto por ciclos térmicos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 211-224, jan./mar. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100217>.

SOUZA, Roberto de. **O conceito de desempenho aplicado às edificações**. O Nome da Rosa. São Paulo, 2015. Disponível em <http://www.cte.com.br/static/upload/Livro-ConceitoDesempenhoEdificacoes.pdf>. Acesso em 13/06/2018.

SUVINIL. **Boletim Técnico**. Disponível em: <https://www.suvinil.com.br/produtos>. Acesso em: 15/04/2018.

VARISCO, M. Q. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa**. 2014. Dissertação (Mestrado). Institutos de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia. Curitiba, PR. Disponível em <http://sistemas.lactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/MarceloVarisco.pdf> Acesso em 17/03/2018.

ZANOTTO, Gustavo; LANTELME, Elvira; COSTELLA, Marcelo, LAVAL, Luiz Gustavo. **Atendimento ao requisito manutenibilidade da NBR 15.575:2013 em um empreendimento habitacional**. SIBRAGEC - ELAGEC 2015 – SÃO CARLOS/SP. ISBN: 978-85-67169040.

10. APÊNDICES

APÊNDICE A – Ensaio de Caracterização dos Blocos Cerâmicos

APÊNDICE B – Projeto do Painel de Controle

APÊNDICE C – Ensaio de Aderência

APÊNDICE D – Análise de Variância – ANOVA

APÊNDICE E - Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova.

APÊNDICE F - Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos.

APÊNDICE G - Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das fissuras

APÊNDICE H - Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos

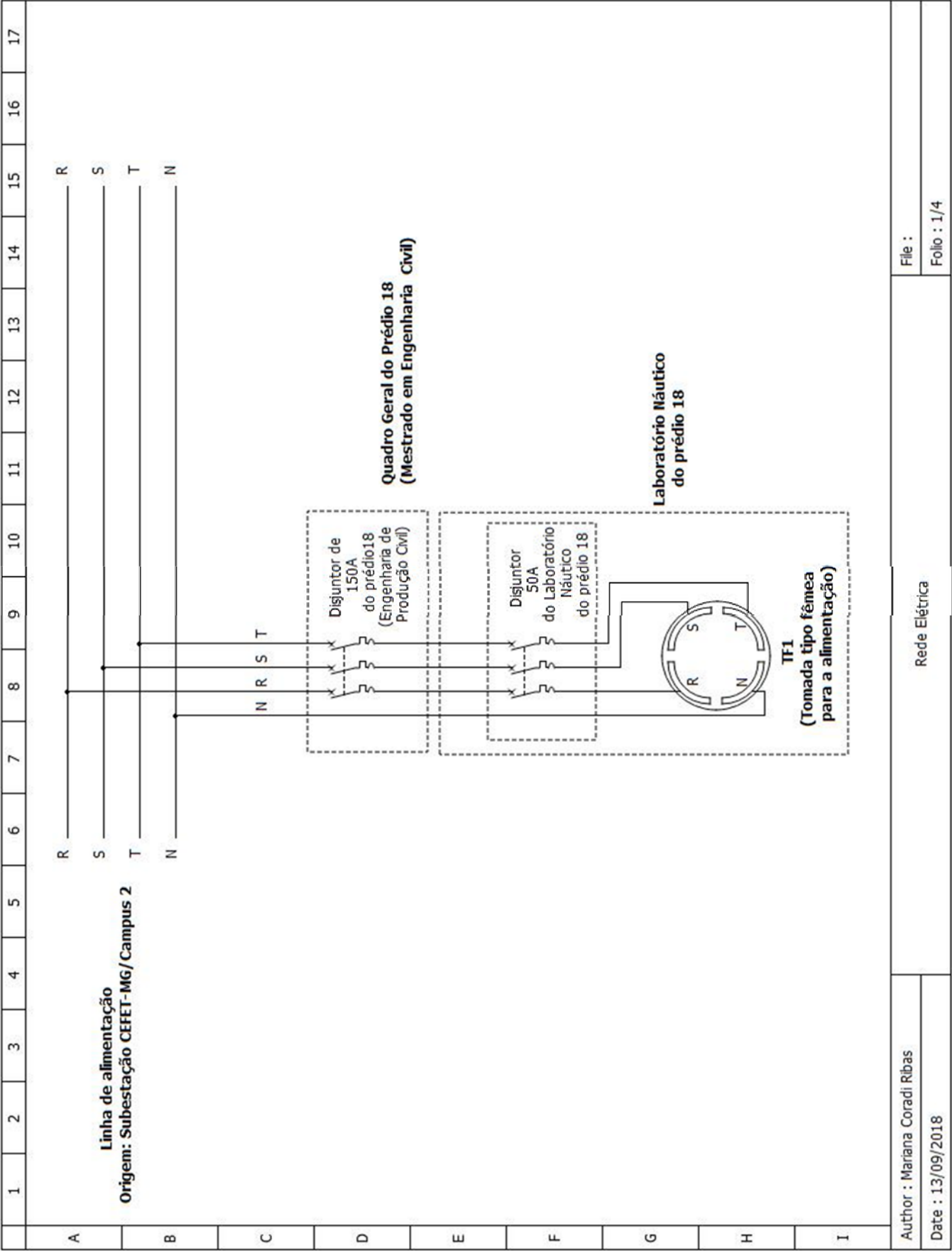
APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS

AMOSTRAS	DIMENSÕES DOS BLOCOS						ESQUADRO		PLANEJA DAS FACES			
	L (140mm)		H (190mm)		C (290mm)		D		F (CENTRO)		F (CANTOS)	
	FRONTE	POSTERIOR	DIREITA	ESQUERDA	SUPERIOR	INFERIOR	DIREITA	ESQUERDA	DIREITA	ESQUERDA	DIREITA	ESQUERDA
1	141,30	141,20	190,00	192,00	288,00	288,50	2,35	2,14	1,28			2,56
2	140,90	141,40	189,50	193,00	288,50	286,50	0,92	1,91	1,27			0,65
3	141,10	141,00	189,00	192,00	286,00	289,00	1,61	2,64	1,49			1,05
4	141,10	141,90	189,50	192,00	287,50	286,00	1,58	2,80	1,02			1,61
5	141,60	140,40	190,50	189,00	288,50	285,00	2,60	0,85		0,71	1,50	
6	141,10	141,00	191,50	189,50	290,00	287,50	2,14	2,66			1,49	1,93
7	141,00	141,00	189,50	191,50	289,50	288,50	2,07	2,35	1,77			1,34
8	141,00	141,20	191,00	189,00	284,00	289,00	2,90	1,74			1,91	1,07
9	140,80	140,80	192,00	188,50	290,00	288,50	2,84	0,77		1,00	1,80	
10	141,10	140,90	189,50	192,00	290,00	289,50	1,90	2,95	1,64			1,89
11	141,00	139,90	191,50	188,50	288,50	286,00	1,36	2,83		1,42	1,71	
12	139,10	141,30	187,50	190,50	285,00	285,50	2,25	2,22	1,02			1,07
13	140,60	141,40	188,50	191,50	289,00	285,50	2,66	1,17	1,20			1,06
Média	140,90	141,03	189,96	190,69	288,04	287,31	2,09	2,08	1,34	1,04	1,68	1,42
Distorção	- 0,90	- 1,03	0,04	- 0,69	1,96	2,69						
Limite Norma (Distorção máxima)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

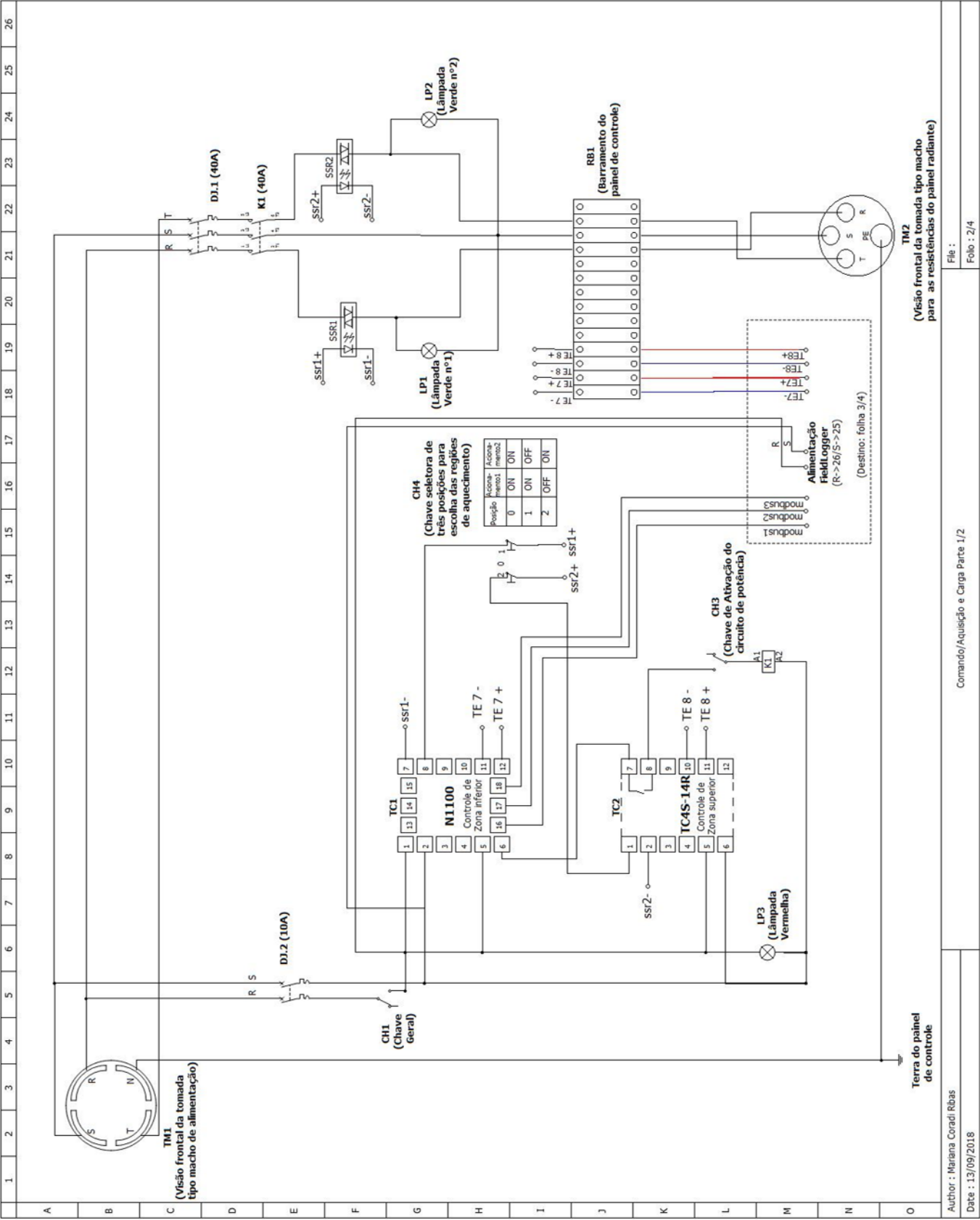
AMOSTRAS	ESPESSURA DOS SEPTOS (mm)									
	SUPERIOR		INFERIOR		CENTRO		ESQUERDA		DIREITA	
	FRONTAL	POSTERIOR	FRONTAL	POSTERIOR	FRONTAL	POSTERIOR	FRONTAL	POSTERIOR	FRONTAL	POSTERIOR
1	9,69	9,54	10,37	10,01	8,14	8,17	11,11	11,66	10,55	10,71
2	9,94	9,35	10,37	9,91	8,90	8,38	11,81	10,72	10,71	10,92
3	9,72	9,57	10,25	9,92	7,92	7,50	11,32	10,71	10,63	11,04
4	10,18	9,43	10,67	10,26	8,57	8,11	11,31	10,95	11,46	11,45
5	9,08	9,60	10,06	10,47	8,26	9,03	10,82	11,12	11,53	11,07
6	9,30	10,00	11,77	10,28	8,10	9,54	10,87	11,13	11,36	11,43
7	9,13	8,97	10,65	10,58	8,31	8,06	11,89	11,47	10,78	11,54
8	9,29	10,43	10,23	9,96	8,28	8,66	11,17	11,12	11,21	11,70
9	9,18	9,22	10,09	11,67	8,39	8,40	11,40	11,65	11,45	11,03
10	10,29	10,10	10,02	9,68	8,25	8,35	11,34	10,88	10,89	10,93
11	10,02	9,22	9,84	11,05	7,63	8,25	10,36	10,96	10,72	10,55
12	9,66	9,93	10,45	10,00	8,21	8,04	11,41	10,45	10,27	10,92
13	9,62	9,58	9,95	10,00	8,61	8,08	11,10	10,64	10,77	10,63
Média	9,62	9,61	10,36	10,29	8,27	8,35	11,22	11,04	10,95	11,07
Limite Norma (mínimo)	7,00	7,00	7,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	7,00	7,00

APÊNDICE B – PROJETO DO PAINEL DE CONTROLE

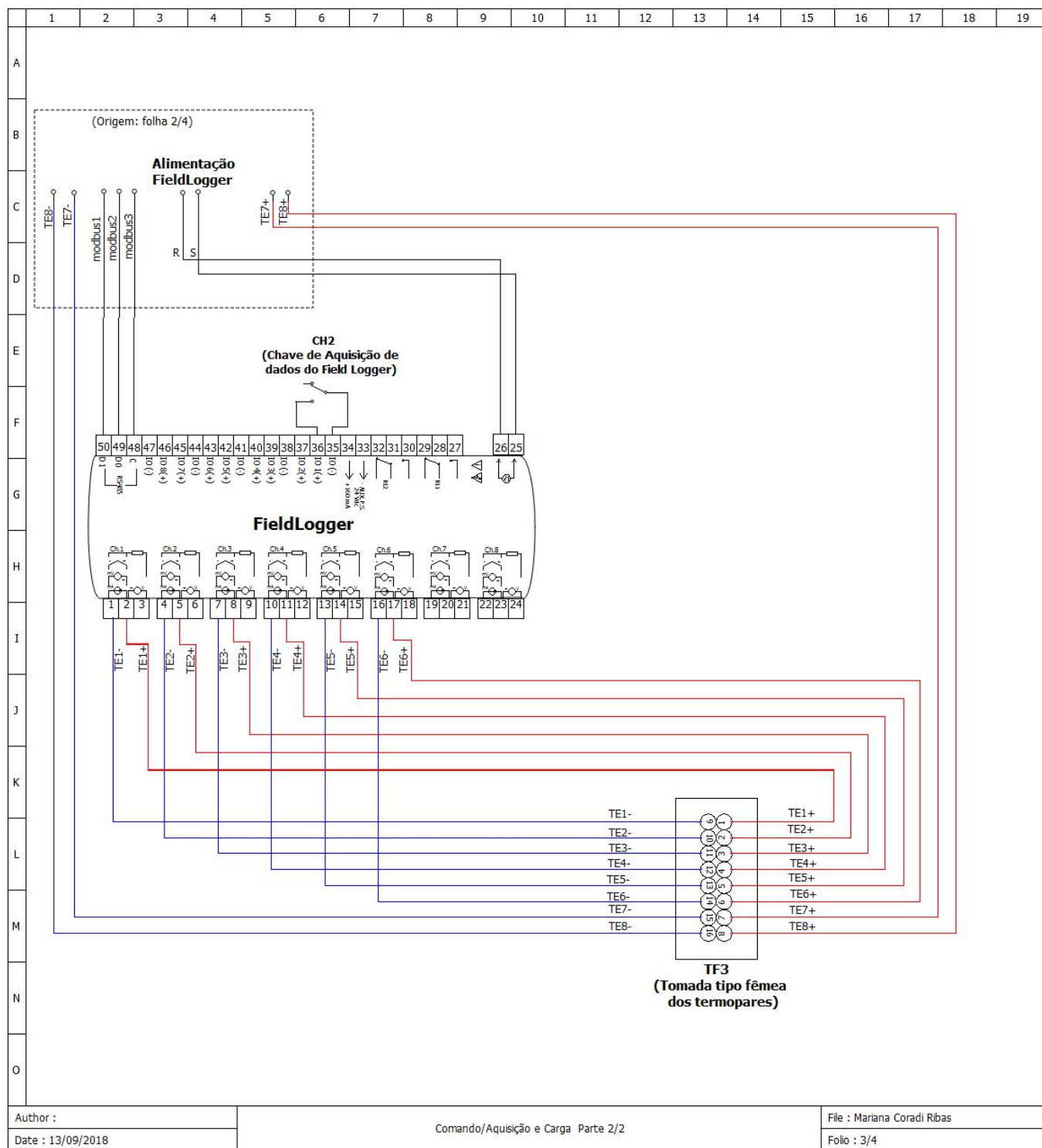
APÊNDICE B1 – Projeto do Painel de Controle (Rede Elétrica)



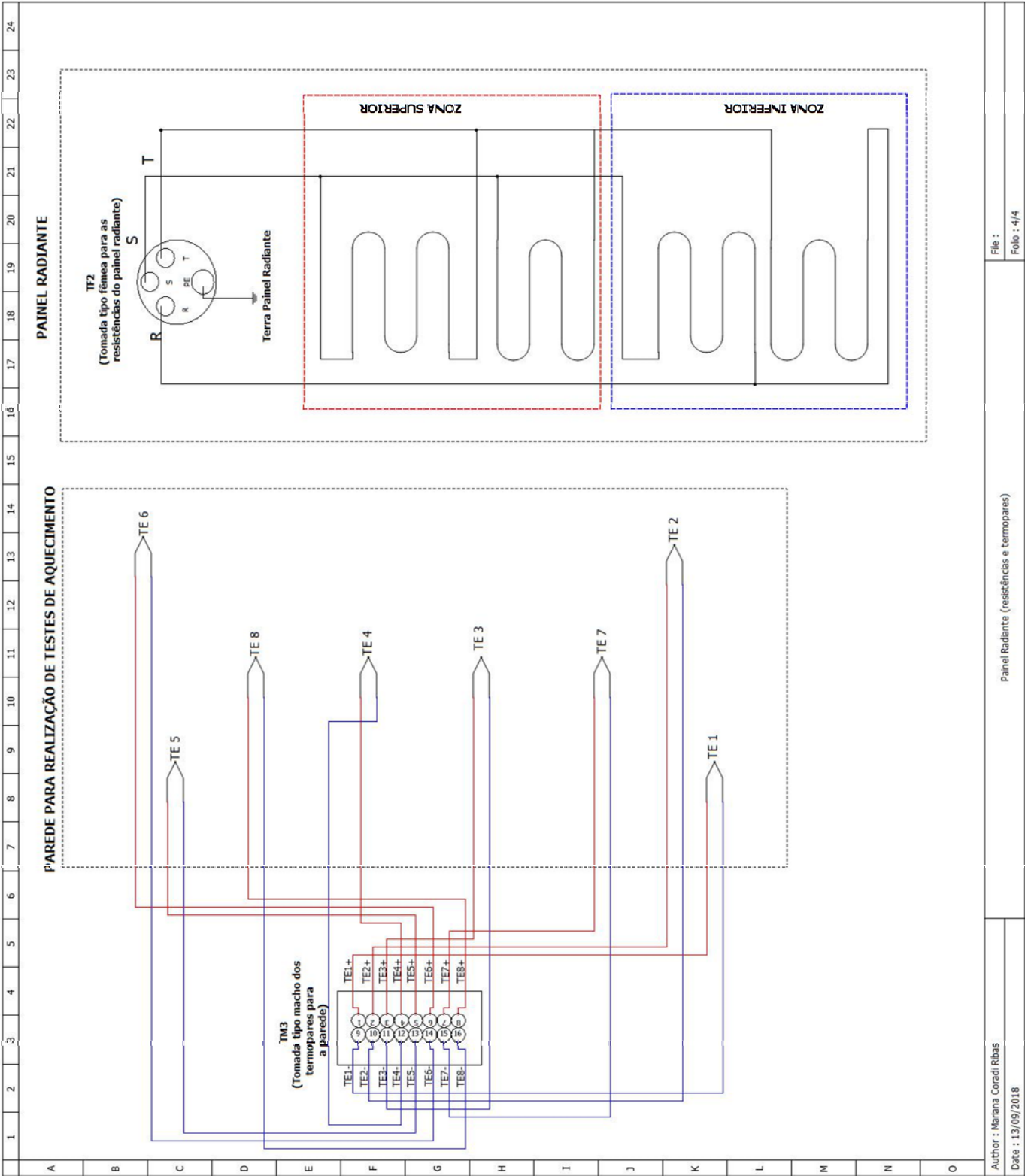
APÊNDICE B2 – Projeto do Painel de Controle (Comando e Aquisição - Parte 1/2)



APÊNDICE B3 – Projeto do Painel de Controle (Comando e Aquisição - Parte 2/2)



APÊNDICE B4 – Projeto do Painei de Controle (Painei Radiante: Resistências e Termopares)



APÊNDICE C – ENSAIOS DE ADERÊNCIA

APÊNDICE C1 – Ensaio de Aderência CP 01

Ensaio de resistência de aderência à tração - ABNT NBR 13.529:2013																	
Corpo de prova: CP01		Data: 09/01/2019		Temperatura Ambiente: 30,1°C		Umidade Relativa: 41%		Chapisco: Não									
1. Informações do sistema de revestimento:				Substrato: Bloco Cerâmico		Idade do revestimento: 146 Dias											
				Argamassa: Industrializada		Tipo de Aplicação: Mecânica											
2. Informações da metodologia de ensaio				Cola utilizada: Epoxi - Araldite 10 minutos													
				Equipamento de corte - Marca: Bosh		Modelo: Profissional GSB 20 2RE											
				Dinamômetro de tração - Marca: Solotest		Modelo: Manual											
3. Coleta de dados																	
Corpo de prova						Local do ensaio		Carga de ruptura (KgF)	Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura(%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Area (mm²)	Bloco	Junta	Sub .				Sub/Arg	Arg.	Cola / Arg	Cola			
1	51,68	51,47	51,58	2.089,14	X			68	667	0,32	100						
2	51,57	51,29	51,43	2.077,41		X		48	471		100						
3	51,38	51,51	51,45	2.078,63		X		136	1.334	0,64	100						
4	51,26	51,41	51,34	2.069,75		X		156	1.530	0,74		50	50				
5	51,38	51,45	51,42	2.076,20	X			55	539		100						
6	51,67	51,49	51,58	2.089,55	X			105	1.030	0,49	100						
7	51,29	51,19	51,24	2.062,09		X		91	892	0,43	100						
8	51,35	51,30	51,33	2.068,94	X			69	677	0,33	100						
9	51,31	51,45	51,38	2.073,38	X			101	990	0,48	100						
10	51,12	51,46	51,29	2.066,12	X			88	863	0,42	100						
11	51,42	51,14	51,28	2.065,31	X			91	892	0,43	40	60					
12	51,93	51,95	51,94	2.118,82	X			82	804	0,38	100						
								Média		0,47	87%	9,17%	4,17%	0,00%	0,00%		
								Desvio Padrão		0,13							
								Distorção		28,5%							
Notas																	
1) d1 e d2 são os diâmetros do corpo de prova																	
2) dm é o diâmetro médio do corpo de prova																	
3) Tensão (MPa) é a carga de ruptura (N)/Área do corpo de prova (mm²)																	
4) Mu (g) é a massa úmida do testemunho + massa do recipient																	
5) Mf (g) é a massa do recipiente																	
6) Ms (g) é a massa seca do corpo de prova																	
7) w (%) é a unidade do revestimento= (((Mu-Mf)-Ms)/MS). 100																	
4. Observações																	
Média												2,52					
Desvio Padrão												0,31					
Distorção												12,18%					

APÊNDICE C2 – Ensaio de Aderência CP 02

Ensaio de resistência de aderência à tração - ABNT NBR 13.529:2013																	
Corpo de prova: CP02		Data: 09/01/2019		Temperatura Ambiente: 30,1°C		Umidade Relativa: 41%											
1. Informações do sistema de revestimento:								Substrato: Bloco Cerâmico		Idade do revestimento: 146 Dias		Chapisco: Não					
								Argamassa: Industrializada		Tipo de Aplicação: Mecânica							
2. Informações da metodologia de ensaio								Cola utilizada: Epoxi - Araldite 10 minutos									
								Equipamento de corte - Marca: Bosh Modelo: Profissional GSB 20 2RE									
								Dinamômetro de tração - Marca: Solotest Modelo: Manual									
3. Coleta de dados																	
Corpo de prova						Local do ensaio		Carga de ruptura (KgF)	Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura(%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dim (mm)	Area (mm²)		Bloco	Junta				Sub .	Sub/Arg	Arg.	Cola / Arg	Cola		
1	51,30	51,46	51,38	2.073,38		X		120	1.177	0,57	15	85				100	
2	Soltou na cola							75	735								
3	51,33	51,96	51,65	2.094,82			X	39	382			100					
4	51,62	51,25	51,44	2.077,82			X	106	1.040	0,50		100					
5	51,10	51,50	51,30	2.066,92		X		118	1.157	0,56	10	90					
6	51,52	52,02	51,77	2.104,97			X	91	892	0,42	100						
7	Soltou na cola								-							100	
8	51,38	51,55	51,47	2.080,24		X		105	1.030	0,49		100					
9	51,41	51,22	51,32	2.068,13		X		75	735	0,36					100		
10	51,47	51,44	51,46	2.079,43			X	125	1.226	0,59					100		
11	51,33	51,50	51,42	2.076,20			X	118	1.157	0,56	100						
12	51,31	51,19	51,25	2.062,90		x		58	569		30	70					
								Média		0,51	21%	45,42%	0,00%		16,67%	16,67%	
								Desvio Padrão		0,08							
								Distorção		16,0%							
Notas																	
1) d1 e d2 são os diâmetros do corpo de prova																	
2) dim é o diâmetro médio do corpo de prova																	
3) Tensão (MPa) é a carga de ruptura (N)/Área do corpo de prova (mm²)																	
4) Mu (g) é a massa úmida do testemunho + massa do recipiente																	
5) Mi (g) é a massa do recipiente																	
6) Ms (g) é a massa seca do corpo de prova																	
7) w (%) é a unidade do revestimento= (((Mu-Mi)-Ms)/MS).100																	
4. Observações																	
Média 2,15																	
Desvio Padrão 0,41																	
Distorção 19,05%																	

APÊNDICE C3 – Ensaio de Aderência CP 03

Ensaio de resistência de aderência à tração - ABNT NBR 13.529:2013																	
Corpo de prova: CP03		Data: 09/01/2019		Temperatura Ambiente: 30,1°C		Umidade Relativa: 41%											
1. Informações do sistema de revestimento:								Substrato: Bloco Cerâmico		Idade do revestimento: 146 Dias		Chapisco: Não					
								Argamassa: Industrializada		Tipo de Aplicação: Mecânica							
2. Informações da metodologia de ensaio								Cola utilizada: Epoxi - Araldite 10 minutos									
								Equipamento de corte - Marca: Bosh Modelo: Profissional GSB 20 2RE									
								Dinamômetro de tração - Marca: Solotest Modelo: Manual									
3. Coleta de dados																	
Corpo de prova						Local do ensaio		Carga de ruptura (KgF)	Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura(%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dim (mm)	Area (mm²)	Bloco	Junta	Sub .				Sub/Arg	Arg.	Cola / Arg	Cola			
1	51,00	51,43	51,22	2.060,08		x		65	637	0,31		100					
2	51,77	51,74	51,76	2.103,75	X			46	451			100					
3	51,62	52,78	52,20	2.140,08		X		125	1.226	0,57		100					
4	51,63	51,45	51,54	2.086,31	x			115	1.128	0,54		100					
5	51,27	51,44	51,36	2.071,36	x			93	912	0,44		5		95			
6	51,38	50,93	51,16	2.055,26		x		80	785	0,38				100			
7	51,30	51,21	51,26	2.063,30	x			27	265			10	90				
8	51,10	51,30	51,20	2.058,87	X			108	1.059	0,51					100		
9	51,23	51,21	51,22	2.060,48	x			66	647	0,31			100				
10	Soltou na cola							27	265							100	
11	51,35	51,28	51,32	2.068,13	x			63	618	0,30				70		30	
12	51,41	51,22	51,32	2.068,13	x			60	588			100					
								Média		0,42		32,50%		22,08%	8,33%	10,83%	
								Desvio Padrão		0,11							
								Distorção		26,4%							
Notas																	
1) d1 e d2 são os diâmetros do corpo de prova																	
2) dim é o diâmetro médio do corpo de prova																	
3) Tensão (MPa) é a carga de ruptura (N)/Área do corpo de prova (mm²)																	
4) Mu (g) é a massa úmida do testemunho + massa do recipient																	
5) Mi (g) é a massa do recipiente																	
6) Ms (g) é a massa seca do corpo de prova																	
7) w (%) é a unidade do revestimento= (((Mu-Mi)-Ms)/MS).100																	
4. Observações																	
Média 2,91																	
Desvio Padrão 0,12																	
Distorção 4,07%																	

APÊNDICE C4 – Ensaio de Aderência CP 04

Ensaio de resistência de aderência à tração - ABNT NBR 13.529:2013																																																																										
Corpo de prova: CP04		Data: 09/01/2019		Temperatura Ambiente: 30,1 °C		Umidade Relativa: 41 %																																																																				
1. Informações do sistema de revestimento:				Substrato: Bloco Cerâmico		Idade do revestimento: 146 Dias		Chapisco: Não																																																																		
				Argamassa: Industrializada		Tipo de Aplicação: Mecânica																																																																				
2. Informações da metodologia de ensaio				Cola utilizada: Epoxi - Araldite 10 minutos																																																																						
				Equipamento de corte - Marca: Bosh		Modelo: Profissional GSB 20 2RE																																																																				
				Dinamômetro de tração - Marca: Solotest		Modelo: Manual																																																																				
3. Coleta de dados																																																																										
				Corpo de prova			Local do ensaio		Carga de ruptura (Kgf)		Carga de ruptura (N)		Tensão Ra (MPa)		Forma de ruptura(%)																																																											
nº		d1 (mm)		d2 (mm)		dm (mm)		Area (mm²)		Bloco		Junta				Sub.		Sub/Arg		Arg.		Cola / Arg		Cola																																																		
1		51,50		51,20		51,35		2.070,96		X						87		853		0,41		70		30																																																		
2		Soltou na cola														30		294								100																																																
3		49,44		49,42		49,43		1.918,98		X						119		1.167		0,61				100																																																		
4		Soltou na cola														35		343								100																																																
5		Soltou na cola																-								100																																																
6		50,95		51,47		51,21		2.059,68				X				124		1.216		0,59		100																																																				
7		Soltou na cola																-								100																																																
8		51,33		51,23		51,28		2.065,31		X						102		1.000		0,48		100																																																				
9		51,17		51,32		51,25		2.062,49				X				86		843		0,41				100																																																		
10		51,87		51,41		51,64		2.094,41		X						65		637		0,30		100																																																				
11		51,42		51,45		51,44		2.077,82		X						118		1.157		0,56		90		10																																																		
12		51,25		51,19		51,22		2.060,48		X						75		735		0,36		5		95																																																		
																Média		0,47		39%		19,58%		0,00%		8,33%																																																
																Desvio Padrão		0,11																																																								
																Distorção		24,2%																																																								
Notas															Informações revestimento																																																											
1) d1 e d2 são os diâmetros do corpo de prova															Unidade %																																																											
2) dm é o diâmetro médio do corpo de prova															nº																																																											
3) Tensão (MPa) é a carga de ruptura (N)/Área do corpo de prova (mm²)															MI (g)										Mu (g)										Ms (g)										W (%)										Espessura (mm)																			
4) Mu (g) é a massa úmida do testemunho + massa do recipient															1										1,41										133,51										128,00										3,20										36,10									
5) Mf (g) é a massa do recipiente															2										1,40										143,20										137,90										2,83										38,65									
6) Ms (g) é a massa seca do corpo de prova															3										1,41										112,31										108,90										1,84										32,24									
7) w (%) é a unidade do revestimento= (((Mu-M)-Ms)/MS). 100																																																																										
4. Observações															Média										Desvio Padrão										Distorção										2,62										0,71										26,92%									

APÊNDICE C5 – Ensaio de Aderência CP 05

Ensaio de resistência de aderência à tração - ABNT NBR 13.529:2013																				
Corpo de prova: CP05		Data: 09/01/2019		Temperatura Ambiente: 30,1°C		Umidade Relativa: 41%														
1. Informações do sistema de revestimento:								Substrato: Bloco Cerâmico Idade do revestimento: 146 Dias Argamassa: Industrializada Tipo de Aplicação: Mecânica Chapisco: Não												
2. Informações da metodologia de ensaio								Cola utilizada: Epoxi - Araldite 10 minutos Equipamento de corte - Marca: Bosh Modelo: Professional GSB 20 2RE Dinamômetro de tração - Marca: Solotest Modelo: Manual												
3. Coleta de dados																				
Corpo de prova						Local do ensaio		Carga de ruptura (Kg)		Carga de ruptura (N)		Tensão Ra (MPa)		Forma de ruptura(%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Area (mm²)	Local do ensaio		Carga de ruptura (Kg)	Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Sub .	Sub/Arg	Arg.	Cola / Arg	Cola						
					Bloco	Junta														
1	51,36	50,41	50,89	2.033,62	X		96	941	0,46		100									
2	51,68	51,32	51,50	2.083,07	X		66	647	0,31		100									
3	51,87	51,30	51,59	2.089,95	X		72	706	0,34		100									
4	51,42	51,89	51,66	2.095,63		X	126	1.236	0,59	90		10								
5	51,30	51,97	51,64	2.094,01		X	97	951	0,45		70	30								
6	51,60	51,43	51,52	2.084,29	X		69	677	0,32		50	50								
7	51,31	51,24	51,28	2.064,91		X	88	863	0,42	30	70									
8	Soltou na cola						89	873						100						
9	51,18	51,42	51,30	2.066,92	X		114	1.118	0,54		100									
10	Soltou na cola						43	422						100						
11	51,18	51,84	51,51	2.083,88		X	63	618	0,30	60	40									
12	51,41	51,24	51,33	2.068,94		X	48	471			90	10								
							Média		0,42	15%	60,00%	8,33%	0,00%	16,67%						
							Desvio Padrão		0,11											
							Distorção		25,4%											
Notas																				
1) d1 e d2 são os diâmetros do corpo de prova 2) dm é o diâmetro médio do corpo de prova 3) Tensão (MPa) é a carga de ruptura (N)/Área do corpo de prova (mm²) 4) Mu (g) é a massa úmida do testemunho + massa do recipient 5) Mi (g) é a massa do recipiente 6) Ms (g) é a massa seca do corpo de prova 7) w (%) é a umidade do revestimento= {[(Mu-Mi)-Ms]/Ms}.100																				
4. Observações																				
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Média</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">2,41</td> </tr> <tr> <td>Desvio Padrão</td> <td style="text-align: right;">0,11</td> </tr> <tr> <td>Distorção</td> <td style="text-align: right;">4,45%</td> </tr> </table>															Média	2,41	Desvio Padrão	0,11	Distorção	4,45%
Média	2,41																			
Desvio Padrão	0,11																			
Distorção	4,45%																			

APÊNDICE D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA – ANOVA

```
> dados = read.csv2(file.choose(), header = TRUE)
```

```
> str(dados)
```

```
'data.frame': 120 obs. of 6 variables:
 $ trat: int 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ cp : Factor w/ 4 levels "CP1","CP2","CP3",...: 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 ...
 $ alt : Factor w/ 2 levels "G","P": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
 $ cic : Factor w/ 2 levels "B","E": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ fa : Factor w/ 2 levels "A","R": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ res : num 0.0683 0.0676 0.0671 0.0442 0.0677 0.0788 0.0425 0.0812 0.0645 0.0564 ...
```

Analysis of Variance Table

Response: res

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
alt	1	0.0118465	0.0118465	71.2221	1.274e-13 ***
cic	1	0.0007294	0.0007294	4.3853	0.03851 *
fa	1	0.0125277	0.0125277	75.3174	3.635e-14 ***
alt:cic	1	0.0006727	0.0006727	4.0442	0.04673 *
alt:fa	1	0.0000279	0.0000279	0.1680	0.68272
cic:fa	1	0.0000045	0.0000045	0.0273	0.86911
alt:cic:fa	1	0.0001061	0.0001061	0.6381	0.42610
Residuals	112	0.0186292	0.0001663		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

CONCLUSÕES: alt(altura) e fa(fase = aquecimento e resfriamento) possuem alta significancia na diferença entre as médias do desvio. Ciclo (base = de 1 a 10 e estendido = 11 a 20) e a interação entre altura e ciclo possuem significância para a diferença entre as médias.

Recomendação: analisar os fatores isoladamente (alt x cic para aquecimento e resfriamento separadamente)

AQUECIMENTO

```
> dadosaq = read.csv2(file.choose(), header = TRUE)
```

```
> str(dadosaq)
```

```
'data.frame': 60 obs. of 5 variables:
 $ trat: int 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ cp : Factor w/ 5 levels "", "CP1", "CP2",...: 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 ...
 $ alt : Factor w/ 3 levels "", "G", "P": 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 ...
 $ cic : Factor w/ 3 levels "", "B", "E": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
 $ res : num 0.0683 0.0676 0.0671 0.0442 0.0677 0.0788 0.0425 0.0812 0.0645 0.0564 ...
```

```
> an_dadosaq = aov(res~alt*cic,data=dadosaq)
```

```
> anova(an_dadosaq)
```

Analysis of Variance Table

Response: res

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
alt	1	0.0053619	0.0053619	30.8891	7.871e-07 ***
cic	1	0.0003094	0.0003094	1.7826	0.18723
alt:cic	1	0.0006566	0.0006566	3.7826	0.05682 .
Residuals	56	0.0097209	0.0001736		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

RESFRIAMENTO

```
> str(dadosre)
```

```
'data.frame': 60 obs. of 5 variables:
```

```
$ trat: int 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
```

```
$ cp : Factor w/ 4 levels "CP1","CP2","CP3",...: 3 3 3 3 3 3 3 3 3 ...
```

```
$ alt : Factor w/ 2 levels "G","P": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
```

```
$ cic : Factor w/ 2 levels "B","E": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
```

```
$ res : num 0.0315 0.0536 0.0585 0.0332 0.0485 0.049 0.0147 0.0252 0.056 0.0455 ...
```

```
> an_dadosre = aov(res~alt*cic,data=dadosre)
```

```
> anova(an_dadosre)
```

Analysis of Variance Table

Response: res

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
alt	1	0.0065125	0.0065125	40.9394	3.393e-08 ***
cic	1	0.0004245	0.0004245	2.6686	0.1080
alt:cic	1	0.0001222	0.0001222	0.7682	0.3845
Residuals	56	0.0089083	0.0001591		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

CONCLUSÃO: separando-se os ciclos de aquecimento e resfriamento a análise de variancia indica que apenas o fator altura do corpo de prova está associado a diferença nas médias do deslocamento.

**APÊNDICE E – TESTE DE HIPÓTESES (Teste-T) PARA ANÁLISE DA
INFLUÊNCIA DA ALTURA DOS CORPOS DE PROVA**

APÊNDICE E1 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova – SIMULAÇÃO 1

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP12_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP12_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP34_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP34_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP12_G10p
  DES.AQ.CP12.G10p
1      -0.03737234
2      -0.04467118
3      -0.04330634
4      -0.04268482
5      -0.04546605
6      -0.03470870
7      -0.02252848
8      -0.02842602
9      -0.03409000
10     -0.02949950
11     -0.03609473
12     -0.03470568
13     -0.04082673
14     -0.02984652
15     -0.02970143
16     -0.02852170
17     -0.02858443
18     -0.02811107
19     -0.02996664
20     -0.03370241
> DES_AQ_CP34_P10p
  DES.AQ.CP34.P10p
1      -0.06826380
2      -0.06758020
3      -0.06705840
4      -0.04421835
5      -0.06773400
6      -0.07878065
7      -0.04249585
8      -0.08118825
9      -0.06450950
10     -0.05642140
11     -0.08671510
12     -0.06299110
13     -0.05808460
14     -0.06940125
15     -0.05668610
16     -0.06598420
17     -0.02868330
18     -0.03358225
19     -0.04850360
20     -0.00549530
> t.test(DES_AQ_CP12_G10p, DES_AQ_CP34_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

      Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP12_G10p and DES_AQ_CP34_P10p
t = 5.1503, df = 38, p-value = 8.294e-06
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.01431049 0.03284575
sample estimates:
 mean of x   mean of y
-0.03414074 -0.05771886

>
```

APÊNDICE E2– Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova – SIMULAÇÃO 2

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP1_G20p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP1_G20p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP4_P20p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP4_P20p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP1_G20p
  DES.AQ.CP1.G20p
1      -0.03737234
2      -0.04467118
3      -0.04330634
4      -0.04268482
5      -0.04546604
6      -0.03470870
7      -0.02252848
8      -0.02842602
9      -0.03409000
10     -0.02949950
11     -0.03309127
12     -0.02783257
13     -0.03525633
14     -0.04070111
15     -0.03850587
16     -0.04010273
17     -0.03830527
18     -0.04230221
19     -0.03395975
20     -0.03325991
> DES_AQ_CP4_P20p
  DES.AQ.CP4.P20p
1      -0.08671510
2      -0.06299110
3      -0.05808460
4      -0.06940125
5      -0.05668610
6      -0.06598420
7      -0.02868330
8      -0.03358225
9      -0.04850360
10     -0.00549530
11     -0.04688995
12     -0.05346245
13     -0.04738575
14     -0.02020665
15     -0.04071715
16     -0.05462335
17     -0.02961460
18     -0.05938395
19     -0.06319385
20     -0.04340440
> t.test(DES_AQ_CP1_G20p, DES_AQ_CP4_P20p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP1_G20p and DES_AQ_CP4_P20p
t = 2.8194, df = 38, p-value = 0.007601
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.003509728 0.021384117
sample estimates:
 mean of x   mean of y
-0.03630352 -0.04875045

>
```


APÊNDICE E3 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova – SIMULAÇÃO 3

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP2_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP2_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP3_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP3_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP2_G10p
  DES.AQ.CP2.G10p
1      -0.03609473
2      -0.03470568
3      -0.04082673
4      -0.02984652
5      -0.02970143
6      -0.02852170
7      -0.02858443
8      -0.02811107
9      -0.02996664
10     -0.03370241
> DES_AQ_CP3_P10p
  DES.AQ.CP3.P10p
1      -0.06826380
2      -0.06758020
3      -0.06705840
4      -0.04421835
5      -0.06773400
6      -0.07878065
7      -0.04249585
8      -0.08118825
9      -0.06450950
10     -0.05642140
> t.test(DES_AQ_CP2_G10p, DES_AQ_CP3_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

    Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP2_G10p and DES_AQ_CP3_P10p
t = 7.4604, df = 18, p-value = 6.529e-07
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.02285834 0.04077947
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.03200613 -0.06382504

>
```

APÊNDICE E4 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova – SIMULAÇÃO 4

R Console

Page 1

```
> AQ_30ciclos_CP1eCP2 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/AQ_30ciclos_CP1eCP2.csv", header=TRUE)
> AQ_30ciclos_CP3eCP4 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/AQ_30ciclos_CP3eCP4.csv", header=TRUE)
> AQ_30ciclos_CP1eCP2
  AQ.30ciclos.CP1eCP2
1      0.03737234
2      0.04467118
3      0.04330634
4      0.04268482
5      0.04546605
6      0.03470870
7      0.02252848
8      0.02842602
9      0.03409000
10     0.02949950
11     0.03309127
12     0.02783257
13     0.03525633
14     0.04070111
15     0.03850587
16     0.04010273
17     0.03830527
18     0.04230220
19     0.03395975
20     0.03325991
21     0.03609473
22     0.03470568
23     0.04082673
24     0.02984652
25     0.02970143
26     0.02852170
27     0.02858443
28     0.02811107
29     0.02996664
30     0.03370241
> AQ_30ciclos_CP3eCP4
  AQ.30ciclos.CP3eCP4
1      0.06826380
2      0.06758020
3      0.06705840
4      0.04421835
5      0.06773400
6      0.07878065
7      0.04249585
8      0.08118825
9      0.06450950
10     0.05642140
11     0.08671510
12     0.06299110
13     0.05808460
14     0.06940125
15     0.05668610
16     0.06598420
17     0.02868330
18     0.03358225
19     0.04850360
20     0.00549530
21     0.04688995
22     0.05346245
23     0.04738575
24     0.02020665
25     0.04071715
26     0.05462335
27     0.02961460
28     0.05938395
29     0.06319385
30     0.04340440
```

```
> t.test(AQ_30ciclos_CP1eCP2, AQ_30ciclos_CP3eCP4, var.equal=TRUE, alternative="two.sided")
```

```
Two Sample t-test
```

```
data: AQ_30ciclos_CP1eCP2 and AQ_30ciclos_CP3eCP4
```

```
t = -5.3952, df = 58, p-value = 1.32e-06
```

```
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
```

```
95 percent confidence interval:
```

```
-0.02591813 -0.01189037
```

```
sample estimates:
```

```
mean of x mean of y  
0.03487106 0.05377531
```

APÊNDICE E5 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova – SIMULAÇÃO 5

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP12_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP12_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP34_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP34_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP12_G10p
  DES.RESF.CP12.G10p
1      -0.026131886
2      -0.011698455
3      -0.009889068
4      -0.009208909
5      -0.014443318
6      -0.017678250
7      -0.009932568
8      -0.014114659
9      -0.015436818
10     -0.010504045
11     -0.043420182
12     -0.010936136
13     -0.015416727
14     -0.010346659
15     -0.008787341
16     -0.010073068
17     -0.013765796
18     -0.003003795
19     -0.011668000
20     -0.020600591
> DES_RESF_CP34_P10p
  DES.RESF.CP34.P10p
1      -0.03150780
2      -0.05357920
3      -0.05848740
4      -0.03319635
5      -0.04847100
6      -0.04902065
7      -0.01470385
8      -0.02519625
9      -0.05595650
10     -0.04548940
11     -0.06534310
12     -0.04218910
13     -0.03298960
14     -0.04271025
15     -0.03052610
16     -0.03005320
17     -0.01503930
18     -0.02823925
19     -0.03222860
20     -0.00905470
> t.test(DES_RESF_CP12_G10p, DES_RESF_CP34_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_RESF_CP12_G10p and DES_RESF_CP34_P10p
t = 5.8511, df = 38, p-value = 9.112e-07
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.01494179 0.03075074
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.01435281 -0.03719908

>
```

APÊNDICE E6 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova – SIMULAÇÃO 6

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP1_G20p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP1_G20p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP4_P20p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP4_P20p.csv",header=TRUE)
      > DES_RESF_CP1_G20p
      DES.RESF.CP1.G20p
1      -0.026131886
2      -0.011698455
3      -0.009889068
4      -0.009208909
5      -0.014443318
6      -0.017678250
7      -0.009932568
8      -0.014114659
9      -0.015436818
10     -0.010504045
11     -0.001921273
12     -0.006161523
13     -0.008132235
14     -0.010710659
15     -0.002734963
16     -0.022539091
17     -0.016562091
18     -0.021970386
19     -0.014334296
20     -0.012272182
> DES_RESF_CP4_P20p
      DES.RESF.CP4.P20p
1      -0.06534310
2      -0.04218910
3      -0.03298960
4      -0.04271025
5      -0.03052610
6      -0.03005320
7      -0.01503930
8      -0.02823925
9      -0.03222860
10     -0.00905470
11     -0.01246795
12     -0.02145245
13     -0.02198175
14     -0.00310365
15     -0.02488315
16     -0.03006235
17     -0.03748660
18     -0.03807795
19     -0.06665885
20     -0.02887240
> t.test(DES_RESF_CP1_G20p, DES_RESF_CP4_P20p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

      Two Sample t-
      test
data:      DES_RESF_CP1_G20p and
      DES_RESF_CP4_P20p, p-value = 4.062e-05
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
      95 percent confidence interval:
      0.01006319 0.02564117
      sample estimates:
mean of x mean of y -0.01281883 -0.03067101

>
```

APÊNDICE E7 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova – SIMULAÇÃO 7

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP2_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP2_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP3_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP3_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP2_G10p
  DES.RESF.CP2.G10p
1      -0.043420182
2      -0.010936136
3      -0.015416727
4      -0.010346659
5      -0.008787341
6      -0.010073068
7      -0.013765796
8      -0.003003795
9      -0.011668000
10     -0.020600591
> DES_RESF_CP3_P10p
  DES.RESF.CP3.P10p
1      -0.03150780
2      -0.05357920
3      -0.05848740
4      -0.03319635
5      -0.04847100
6      -0.04902065
7      -0.01470385
8      -0.02519625
9      -0.05595650
10     -0.04548940
> t.test(DES_RESF_CP2_G10p, DES_RESF_CP3_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_RESF_CP2_G10p and DES_RESF_CP3_P10p
t = 4.6243, df = 18, p-value = 0.0002107
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.01460192 0.03891610
sample estimates:
 mean of x   mean of y
-0.01480183 -0.04156084

>
```

APÊNDICE E8 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência da altura dos corpos de prova – SIMULAÇÃO 8

R Console

Page 1

```
> RESF_30ciclos_CP1eCP2 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RESF_30ciclos_CP1eCP2.csv",header=T
RUE)
> RESF_30ciclos_CP3eCP4 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RESF_30ciclos_CP3eCP4.csv",header=T
RUE)
> RESF_30ciclos_CP1eCP2
  RESF.30ciclos.CP1eCP2
1      0.026131886
2      0.011698455
3      0.009889068
4      0.009208909
5      0.014443318
6      0.017678250
7      0.009932568
8      0.014114659
9      0.015436818
10     0.010504045
11     0.001921273
12     0.006161523
13     0.008132235
14     0.010710659
15     0.002734963
16     0.022539091
17     0.016562091
18     0.021970386
19     0.014334296
20     0.012272182
21     0.043420182
22     0.010936136
23     0.015416727
24     0.010346659
25     0.008787341
26     0.010073068
27     0.013765796
28     0.003003795
29     0.011668000
30     0.020600591
> RESF_30ciclos_CP3eCP4
  RESF.30ciclos.CP3eCP4
1      0.03150780
2      0.05357920
3      0.05848740
4      0.03319635
5      0.04847100
6      0.04902065
7      0.01470385
8      0.02519625
9      0.05595650
10     0.04548940
11     0.06534310
12     0.04218910
13     0.03298960
14     0.04271025
15     0.03052610
16     0.03005320
17     0.01503930
18     0.02823925
19     0.03222860
20     0.00905470
21     0.01246795
22     0.02145245
23     0.02198175
24     0.00310365
25     0.02488315
26     0.03006235
27     0.03748660
28     0.03807795
29     0.06665885
30     0.02887240
```

>

```
> t.test(RESF_30ciclos_CP1eCP2, RESF_30ciclos_CP3eCP4, var.equal=TRUE, alternative="two.sided")
```

Two Sample t-test

data: RESF_30ciclos_CP1eCP2 and RESF_30ciclos_CP3eCP4

t = -6.3156, df = 58, p-value = 4.09e-08

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0.02742034 -0.01422191

sample estimates:

mean of x mean of y 0.01347983 0.03430096

**APÊNDICE F – TESTE DE HIPÓTESES (Teste-T) PARA ANÁLISE DA
INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE CICLOS**

APÊNDICE F1 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 1

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP1_G20p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP1_G20p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP2_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP2_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP1_G20p
  DES.RESF.CP1.G20p
1      -0.026131886
2      -0.011698455
3      -0.009889068
4      -0.009208909
5      -0.014443318
6      -0.017678250
7      -0.009932568
8      -0.014114659
9      -0.015436818
10     -0.010504045
11     -0.001921273
12     -0.006161523
13     -0.008132235
14     -0.010710659
15     -0.002734963
16     -0.022539091
17     -0.016562091
18     -0.021970386
19     -0.014334296
20     -0.012272182
> DES_RESF_CP2_G10p
  DES.RESF.CP2.G10p
1      -0.043420182
2      -0.010936136
3      -0.015416727
4      -0.010346659
5      -0.008787341
6      -0.010073068
7      -0.013765796
8      -0.003003795
9      -0.011668000
10     -0.020600591
> t.test(DES_RESF_CP1_G20p, DES_RESF_CP2_G10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_RESF_CP1_G20p and DES_RESF_CP2_G10p
t = 0.63315, df = 28, p-value = 0.5318
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.004432493  0.008398485
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.01281883 -0.01480183

>
```

APÊNDICE F2 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 2

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP1_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP1_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP2_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP2_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP1_G10p
  DES.RESF.CP1.G10p
1      -0.026131886
2      -0.011698455
3      -0.009889068
4      -0.009208909
5      -0.014443318
6      -0.017678250
7      -0.009932568
8      -0.014114659
9      -0.015436818
10     -0.010504045
> DES_RESF_CP2_G10p
  DES.RESF.CP2.G10p
1      -0.043420182
2      -0.010936136
3      -0.015416727
4      -0.010346659
5      -0.008787341
6      -0.010073068
7      -0.013765796
8      -0.003003795
9      -0.011668000
10     -0.020600591
> t.test(DES_RESF_CP1_G10p, DES_RESF_CP2_G10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_RESF_CP1_G10p and DES_RESF_CP2_G10p
t = 0.23332, df = 18, p-value = 0.8181
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.007188138  0.008984201
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.01390380 -0.01480183

>
```

APÊNDICE F3 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 3

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP1_G10Fp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP1_G10Fp.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP2_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP2_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP1_G10Fp
  DES.RESF.CP1.G10Fp
1      -0.001921273
2      -0.006161523
3      -0.008132235
4      -0.010710659
5      -0.002734963
6      -0.022539091
7      -0.016562091
8      -0.021970386
9      -0.014334296
10     -0.012272182
> DES_RESF_CP2_G10p
  DES.RESF.CP2.G10p
1      -0.043420182
2      -0.010936136
3      -0.015416727
4      -0.010346659
5      -0.008787341
6      -0.010073068
7      -0.013765796
8      -0.003003795
9      -0.011668000
10     -0.020600591
> t.test(DES_RESF_CP1_G10Fp, DES_RESF_CP2_G10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_RESF_CP1_G10Fp and DES_RESF_CP2_G10p
t = 0.73439, df = 18, p-value = 0.4722
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.005708736  0.011844655
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.01173387 -0.01480183

>
```

APÊNDICE F4 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 4

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP4_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP4_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP3_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP3_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP4_P10p
  DES_RESF_CP4_P10p
1      -0.06534310
2      -0.04218910
3      -0.03298960
4      -0.04271025
5      -0.03052610
6      -0.03005320
7      -0.01503930
8      -0.02823925
9      -0.03222860
10     -0.00905470
> DES_RESF_CP3_P10p
  DES_RESF_CP3_P10p
1      -0.03150780
2      -0.05357920
3      -0.05848740
4      -0.03319635
5      -0.04847100
6      -0.04902065
7      -0.01470385
8      -0.02519625
9      -0.05595650
10     -0.04548940
> t.test(DES_RESF_CP4_P10p, DES_RESF_CP3_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

    Two Sample t-test

data:  DES_RESF_CP4_P10p and DES_RESF_CP3_P10p
t = 1.2963, df = 18, p-value = 0.2112
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.005414558  0.022861598
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.03283732 -0.04156084 

>
```

APÊNDICE F5 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 5

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP4_P10Fp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP4_P10Fp.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP3_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP3_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP4_P10Fp
DES_RESF_CP4_P10Fp
1      -0.01246795
2      -0.02145245
3      -0.02198175
4      -0.00310365
5      -0.02488315
6      -0.03006235
7      -0.03748660
8      -0.03807795
9      -0.06665885
10     -0.02887240
> DES_RESF_CP3_P10p
DES_RESF_CP3_P10p
1      -0.03150780
2      -0.05357920
3      -0.05848740
4      -0.03319635
5      -0.04847100
6      -0.04902065
7      -0.01470385
8      -0.02519625
9      -0.05595650
10     -0.04548940
> t.test(DES_RESF_CP4_P10Fp, DES_RESF_CP3_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_RESF_CP4_P10Fp and DES_RESF_CP3_P10p
t = 1.8351, df = 18, p-value = 0.08307
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.001891052  0.028003312
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.02850471 -0.04156084

>
```

APÊNDICE F6 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 6

R Console

Page 1

```
> DES_RESF_CP4_P20p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP4_P20p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP3_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_RESF_CP3_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_RESF_CP4_P20p
  DES.RESF.CP4.P20p
1      -0.06534310
2      -0.04218910
3      -0.03298960
4      -0.04271025
5      -0.03052610
6      -0.03005320
7      -0.01503930
8      -0.02823925
9      -0.03222860
10     -0.00905470
11     -0.01246795
12     -0.02145245
13     -0.02198175
14     -0.00310365
15     -0.02488315
16     -0.03006235
17     -0.03748660
18     -0.03807795
19     -0.06665885
20     -0.02887240
> DES_RESF_CP3_P10p
  DES.RESF.CP3.P10p
1      -0.03150780
2      -0.05357920
3      -0.05848740
4      -0.03319635
5      -0.04847100
6      -0.04902065
7      -0.01470385
8      -0.02519625
9      -0.05595650
10     -0.04548940
> t.test(DES_RESF_CP4_P20p, DES_RESF_CP3_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_RESF_CP4_P20p and DES_RESF_CP3_P10p
t = 1.8032, df = 28, p-value = 0.08213
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.001480811  0.023260461
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.03067101 -0.04156084

>
```

APÊNDICE F7 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 7

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP1_G20p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP1_G20p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP2_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP2_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP1_G20p
  DES.AQ.CP1.G20p
1      -0.03737234
2      -0.04467118
3      -0.04330634
4      -0.04268482
5      -0.04546604
6      -0.03470870
7      -0.02252848
8      -0.02842602
9      -0.03409000
10     -0.02949950
11     -0.03309127
12     -0.02783257
13     -0.03525633
14     -0.04070111
15     -0.03850587
16     -0.04010273
17     -0.03830527
18     -0.04230221
19     -0.03395975
20     -0.03325991
> DES_AQ_CP2_G10p
  DES.AQ.CP2.G10p
1      -0.03609473
2      -0.03470568
3      -0.04082673
4      -0.02984652
5      -0.02970143
6      -0.02852170
7      -0.02858443
8      -0.02811107
9      -0.02996664
10     -0.03370241
> t.test(DES_AQ_CP1_G20p, DES_AQ_CP2_G10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP1_G20p and DES_AQ_CP2_G10p
t = -1.9739, df = 28, p-value = 0.05834
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.0087570883  0.0001623116
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.03630352 -0.03200613

>
```


APÊNDICE F8 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 8

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP1_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP1_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP2_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP2_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP1_G10p
  DES_AQ_CP1_G10p
1      -0.03737234
2      -0.04467118
3      -0.04330634
4      -0.04268482
5      -0.04546605
6      -0.03470870
7      -0.02252848
8      -0.02842602
9      -0.03409000
10     -0.02949950
> DES_AQ_CP2_G10p
  DES_AQ_CP2_G10p
1      -0.03609473
2      -0.03470568
3      -0.04082673
4      -0.02984652
5      -0.02970143
6      -0.02852170
7      -0.02858443
8      -0.02811107
9      -0.02996664
10     -0.03370241
> t.test(DES_AQ_CP1_G10p, DES_AQ_CP2_G10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

    Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP1_G10p and DES_AQ_CP2_G10p
t = -1.5219, df = 18, p-value = 0.1454
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.010162825  0.001624406
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.03627534 -0.03200613

>
```

APÊNDICE F9 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 9

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP4_P20p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP4_P20p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP3_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP3_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP4_P20p
  DES.AQ.CP4.P20p
1      -0.08671510
2      -0.06299110
3      -0.05808460
4      -0.06940125
5      -0.05668610
6      -0.06598420
7      -0.02868330
8      -0.03358225
9      -0.04850360
10     -0.00549530
11     -0.04688995
12     -0.05346245
13     -0.04738575
14     -0.02020665
15     -0.04071715
16     -0.05462335
17     -0.02961460
18     -0.05938395
19     -0.06319385
20     -0.04340440
> DES_AQ_CP3_P10p
  DES.AQ.CP3.P10p
1      -0.06826380
2      -0.06758020
3      -0.06705840
4      -0.04421835
5      -0.06773400
6      -0.07878065
7      -0.04249585
8      -0.08118825
9      -0.06450950
10     -0.05642140
> t.test(DES_AQ_CP4_P20p, DES_AQ_CP3_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP4_P20p and DES_AQ_CP3_P10p
t = 2.2802, df = 28, p-value = 0.03041
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.001532368 0.028616822
sample estimates:
 mean of x   mean of y
-0.04875045 -0.06382504

>
```

APÊNDICE F10 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 10

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP4_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP4_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP3_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP3_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP4_P10p
  DES.AQ.CP4.P10p
1      -0.08671510
2      -0.06299110
3      -0.05808460
4      -0.06940125
5      -0.05668610
6      -0.06598420
7      -0.02868330
8      -0.03358225
9      -0.04850360
10     -0.00549530
> DES_AQ_CP3_P10p
  DES.AQ.CP3.P10p
1      -0.06826380
2      -0.06758020
3      -0.06705840
4      -0.04421835
5      -0.06773400
6      -0.07878065
7      -0.04249585
8      -0.08118825
9      -0.06450950
10     -0.05642140
> t.test(DES_AQ_CP4_P10p, DES_AQ_CP3_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

    Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP4_P10p and DES_AQ_CP3_P10p
t = 1.4461, df = 18, p-value = 0.1653
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.005530322  0.029955042
sample estimates:
 mean of x  mean of y
-0.05161268 -0.06382504

>
```

APÊNDICE F11 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 11

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP1_G10Fp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP1_G10Fp.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP2_G10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP2_G10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP1_G10Fp
  DES_AQ_CP1_G10Fp
1      -0.03309127
2      -0.02783257
3      -0.03525633
4      -0.04070111
5      -0.03850587
6      -0.04010273
7      -0.03830527
8      -0.04230220
9      -0.03395975
10     -0.03325991
> DES_AQ_CP2_G10p
  DES_AQ_CP2_G10p
1      -0.03609473
2      -0.03470568
3      -0.04082673
4      -0.02984652
5      -0.02970143
6      -0.02852170
7      -0.02858443
8      -0.02811107
9      -0.02996664
10     -0.03370241
> t.test(DES_AQ_CP1_G10Fp, DES_AQ_CP2_G10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

    Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP1_G10Fp and DES_AQ_CP2_G10p
t = -2.2441, df = 18, p-value = 0.03764
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.0083751112 -0.0002760239
sample estimates:
 mean of x   mean of y 
-0.03633170 -0.03200613

>
```

APÊNDICE F12 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise da influência do número de ciclos – SIMULAÇÃO 12

R Console

Page 1

```
> DES_AQ_CP4_P10Fp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP4_P10Fp.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP3_P10p <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/DES_AQ_CP3_P10p.csv",header=TRUE)
> DES_AQ_CP4_P10Fp
  DES.AQ.CP4.P10Fp
1      -0.04688995
2      -0.05346245
3      -0.04738575
4      -0.02020665
5      -0.04071715
6      -0.05462335
7      -0.02961460
8      -0.05938395
9      -0.06319385
10     -0.04340440
> DES_AQ_CP3_P10p
  DES.AQ.CP3.P10p
1      -0.06826380
2      -0.06758020
3      -0.06705840
4      -0.04421835
5      -0.06773400
6      -0.07878065
7      -0.04249585
8      -0.08118825
9      -0.06450950
10     -0.05642140
> t.test(DES_AQ_CP4_P10Fp, DES_AQ_CP3_P10p, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  DES_AQ_CP4_P10Fp and DES_AQ_CP3_P10p
t = 3.0786, df = 18, p-value = 0.006476
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.005696169 0.030177491
sample estimates:
 mean of x   mean of y
-0.04588821 -0.06382504

>
```

APÊNDICE G – TESTE DE HIPÓTESES (Teste-T) PARA ANÁLISE DAS FISSURAS

APÊNDICE G1 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das fissuras SIMULAÇÃO 1

R Console

Page 1

```
> F_CP1_14Dp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/F_CP1_14Dp.csv",header=TRUE)
> F_CP4_14Dp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/F_CP4_14Dp.csv",header=TRUE)
> F_CP1_14Dp
  F_CP1_14Dp
1    1.363636
2    3.409091
3    4.090909
4   12.272727
5    3.181818
6    2.727273
7    6.818182
8   22.727273
> F_CP4_14Dp
  F_CP4_14Dp
1         12.0
2         10.5
3          6.5
4          7.0
5          4.5
6          6.0
7          4.0
8          3.5
9          6.0
10         9.0
11         4.0
12         7.5
13         4.5
14         4.0
15         5.0
16         1.0
17         4.0
18         2.5
> t.test(F_CP1_14Dp,F_CP4_14Dp, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  F_CP1_14Dp and F_CP4_14Dp
t = 0.74549, df = 24, p-value = 0.4632
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -2.537782  5.407732
sample estimates:
mean of x mean of y
 7.073864  5.638889

>
```

APÊNDICE G2 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das fissuras SIMULAÇÃO 2

R Console

Page 1

```
> F_CP2_14Dp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/F_CP2_14Dp.csv",header=TRUE)
> F_CP3_14Dp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/F_CP3_14Dp.csv",header=TRUE)
> F_CP2_14Dp
  F_CP2_14Dp
1    9.090909
2    6.363636
3    4.772727
4    3.636364
5    1.363636
> F_CP3_14Dp
  F_CP3_14Dp
1         9.5
2         6.0
3         4.5
4         3.0
> t.test(F_CP2_14Dp,F_CP3_14Dp, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

      Two Sample t-test

data:  F_CP2_14Dp and F_CP3_14Dp
t = -0.36816, df = 7, p-value = 0.7236
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -5.229755  3.820664
sample estimates:
mean of x mean of y
 5.045455  5.750000

>
```


APÊNDICE G3 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das fissuras SIMULAÇÃO 3

R Console

Page 1

```
> F_CP23_10Cp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/F_CP23_10Cp.csv",header=TRUE)
> F_CP23_14Dp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/F_CP23_14Dp.csv",header=TRUE)
> F_CP23_10Cp
  F_CP23_10Cp
1      9.090909
2      6.363636
3      4.772727
4      3.409091
5      9.500000
> F_CP23_14Dp
  F_CP23_14Dp
1      9.090909
2      6.363636
3      4.772727
4      3.636364
5      1.363636
6      9.500000
7      6.000000
8      4.500000
9      3.000000
> t.test(F_CP23_10Cp,F_CP23_14Dp, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

    Two Sample t-test

data:  F_CP23_10Cp and F_CP23_14Dp
t = 0.84837, df = 12, p-value = 0.4128
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -1.989613  4.526986
sample estimates:
mean of x mean of y
 6.627273  5.358586

>
```

APÊNDICE G4 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das fissuras SIMULAÇÃO 4

R Console

Page 1

```
> F_CP2_10Cp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/F_CP2_10Cp.csv",header=TRUE)
> F_CP3_10Cp <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/F_CP3_10Cp.csv",header=TRUE)
> F_CP2_10Cp
  F_CP2_10Cp
1    9.090909
2    6.363636
3    4.772727
4    3.409091
> F_CP3_10Cp
  F_CP3_10Cp
1         9.5
> t.test(F_CP2_10Cp,F_CP3_10Cp, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")
```

Two Sample t-test

```
data: F_CP2_10Cp and F_CP3_10Cp
t = -1.3159, df = 3, p-value = 0.2797
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -12.275329  5.093511
sample estimates:
mean of x mean of y
 5.909091  9.500000

>
```

APÊNDICE H – TESTE DE HIPÓTESES (Teste-T) PARA ANÁLISE DAS RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

APÊNDICE H1 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos - SIMULAÇÃO 1

R Console

Page 1

```
> RACP5 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RACP5.csv",header=TRUE)
> RAG10 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAG10.csv",header=TRUE)
> RACP5
  RA.CP5
1 0.4629
2 0.3107
3 0.3378
4 0.5896
5 0.4543
6 0.3246
7 0.4179
8 0.5409
9 0.2965
> RAG10
  RA.CP2.G10
1      0.5676
2      0.5003
3      0.5599
4      0.4240
5      0.4950
6      0.3556
7      0.5895
8      0.5574
> t.test(RACP5, RAG10, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")
```

Two Sample t-test

```
data: RACP5 and RAG10
t = -1.9768, df = 15, p-value = 0.06675
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.189412507  0.007131952
sample estimates:
mean of x mean of y
0.4150222 0.5061625

>
```

APÊNDICE H2 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos - SIMULAÇÃO 2

R Console

Page 1

```
> RACP5 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RACP5.csv",header=TRUE)
> RAP10 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAP10.csv",header=TRUE)
> RACP5
  RA.CP5
1 0.4629
2 0.3107
3 0.3378
4 0.5896
5 0.4543
6 0.3246
7 0.4179
8 0.5409
9 0.2965
> RAP10
  RA.CP3.P10
1      0.3094
2      0.5728
3      0.5406
4      0.4403
5      0.3817
6      0.5144
7      0.3141
8      0.2987
> t.test(RACP5, RAP10, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")
```

Two Sample t-test

```
data: RACP5 and RAP10
t = -0.12305, df = 15, p-value = 0.9037
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.1186847  0.1057292
sample estimates:
mean of x mean of y
0.4150222 0.4215000
>
```

APÊNDICE H3 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos - SIMULAÇÃO 3

R Console

Page 1

```
> RACP5 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RACP5.csv",header=TRUE)
> RAG20 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAG20.csv",header=TRUE)
> RACP5
  RA.CP5
1 0.4629
2 0.3107
3 0.3378
4 0.5896
5 0.4543
6 0.3246
7 0.4179
8 0.5409
9 0.2965
> RAG20
  RA.CP1.G20
1      0.3192
2      0.6416
3      0.7391
4      0.4928
5      0.4328
6      0.3271
7      0.4777
8      0.4177
9      0.4321
10     0.3795
> t.test(RACP5, RAG20, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

      Two Sample t-test

data:  RACP5 and RAG20
t = -0.9171, df = 17, p-value = 0.3719
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.1681220  0.0662464
sample estimates:
mean of x mean of y
0.4150222 0.4659600
```

>

APÊNDICE H4 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos - SIMULAÇÃO 4

R Console

Page 1

```
> RACP5 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RACP5.csv",header=TRUE)
> RAP20 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAP20.csv",header=TRUE)
> RACP5
  RA.CP5
1 0.4629
2 0.3107
3 0.3378
4 0.5896
5 0.4543
6 0.3246
7 0.4179
8 0.5409
9 0.2965
> RAP20
  RA.CP4.P20
1      0.4120
2      0.6081
3      0.5904
4      0.4843
5      0.4089
6      0.3043
7      0.5569
8      0.3570
> t.test(RACP5, RAP20, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")
```

Two Sample t-test

```
data: RACP5 and RAP20
t = -0.94946, df = 15, p-value = 0.3574
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.16294352  0.06251297
sample estimates:
mean of x mean of y
0.4150222 0.4652375
```

```
>
```

APÊNDICE H5 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos - SIMULAÇÃO 5

R Console

Page 1

```
> RAG20 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAG20.csv",header=TRUE)
> RAG10 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAG10.csv",header=TRUE)
> RAG20
  RA.CP1.G20
1      0.3192
2      0.6416
3      0.7391
4      0.4928
5      0.4328
6      0.3271
7      0.4777
8      0.4177
9      0.4321
10     0.3795
> RAG10
  RA.CP2.G10
1      0.5676
2      0.5003
3      0.5599
4      0.4240
5      0.4950
6      0.3556
7      0.5895
8      0.5574
> t.test(RAG10, RAG20, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  RAG10 and RAG20
t = 0.74877, df = 16, p-value = 0.4649
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.07361786  0.15402286
sample estimates:
mean of x mean of y
0.5061625 0.4659600

>
```


APÊNDICE H6 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos - SIMULAÇÃO 6

R Console

Page 1

```
> RAP20 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAP20.csv",header=TRUE)
> RAP10 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAP10.csv",header=TRUE)
> RAP20
  RA.CP4.P20
1      0.4120
2      0.6081
3      0.5904
4      0.4843
5      0.4089
6      0.3043
7      0.5569
8      0.3570
> RAP10
  RA.CP3.P10
1      0.3094
2      0.5728
3      0.5406
4      0.4403
5      0.3817
6      0.5144
7      0.3141
8      0.2987
> t.test(RAP10, RAP20, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

    Two Sample t-test

data:  RAP10 and RAP20
t = -0.78175, df = 14, p-value = 0.4474
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.1637342  0.0762592
sample estimates:
mean of x mean of y
0.4215000 0.4652375

>
```

APÊNDICE H7 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos - SIMULAÇÃO 7

R Console

Page 1

```
> RAG10 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAG10.csv",header=TRUE)
> RAP10 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAP10.csv",header=TRUE)
> RAG10
  RA.CP2.G10
1      0.5676
2      0.5003
3      0.5599
4      0.4240
5      0.4950
6      0.3556
7      0.5895
8      0.5574
> RAP10
  RA.CP3.P10
1      0.3094
2      0.5728
3      0.5406
4      0.4403
5      0.3817
6      0.5144
7      0.3141
8      0.2987
> t.test(RAG10, RAP10, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  RAG10 and RAP10
t = 1.7396, df = 14, p-value = 0.1039
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.01971867  0.18904367
sample estimates:
mean of x mean of y
0.5061625 0.4215000

>
```

APÊNDICE H8 – Testes de hipóteses (Teste-T) para análise das resistências de aderência à tração dos revestimentos - SIMULAÇÃO 8

R Console

Page 1

```
> RAG20 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAG20.csv",header=TRUE)
> RAP20 <- read.csv2(file="C:/- MESTRADO/R/RAP20.csv",header=TRUE)
> RAG20
  RA.CP1.G20
1      0.3192
2      0.6416
3      0.7391
4      0.4928
5      0.4328
6      0.3271
7      0.4777
8      0.4177
9      0.4321
10     0.3795
> RAP20
  RA.CP4.P20
1      0.4120
2      0.6081
3      0.5904
4      0.4843
5      0.4089
6      0.3043
7      0.5569
8      0.3570
> t.test(RAG20, RAP20, var.equal=TRUE,alternative="two.sided")

Two Sample t-test

data:  RAG20 and RAP20
t = 0.012243, df = 16, p-value = 0.9904
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.1243801  0.1258251
sample estimates:
mean of x mean of y
0.4659600 0.4652375

>
```