

RAYANE NEVES FRANCO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO QUANTO À ESTANQUEIDADE DE JUNTAS
SUJEITAS A ENVELHECIMENTO ACELERADO, UTILIZADAS EM SISTEMAS
DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA EM ALVENARIA
PARA ESTRUTURAS DE AÇO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F825a Franco, Rayane Neves, 1990-
2019 Avaliação do desempenho quanto à estanqueidade de juntas
sujeitas a envelhecimento acelerado, utilizadas em sistemas de
vedação vertical externa em alvenaria para estruturas de aço /
Rayane Neves Franco. – Viçosa, MG, 2019.
xvi, 153 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Leonardo Gonçalves Pedroti.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 132-135.

1. Aço - Estruturas. 2. Vedação (Tecnologia). 3. Alvenaria.
4. Juntas (Engenharia). 5. Desempenho. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. II. Título.

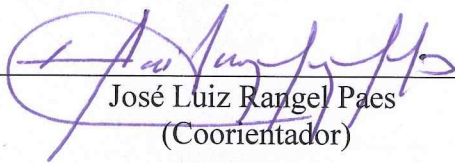
CDD 22. ed. 624.1821

RAYANE NEVES FRANCO

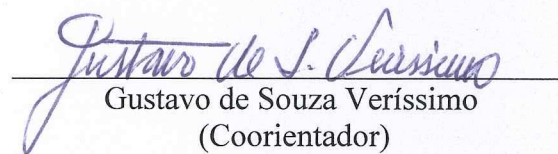
**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO QUANTO À ESTANQUEIDADE DE JUNTAS
SUJEITAS A ENVELHECIMENTO ACELERADO, UTILIZADAS EM SISTEMAS
DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA EM ALVENARIA
PARA ESTRUTURAS DE AÇO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 07 de fevereiro de 2019.



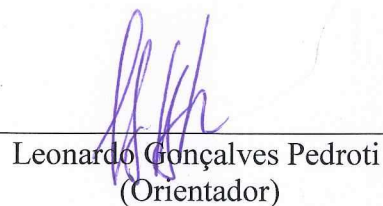
José Luiz Rangel Paes
(Coorientador)



Gustavo de Souza Veríssimo
(Coorientador)



Alexandre Araújo Bertini



Leonardo Gonçalves Pedroti
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força que me deu para que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, Jedes e Nilda, por todo amparo e carinho em todos os momentos.

À minha irmã Mayara, pelo companheirismo.

Ao meu namorado Tomás, por todo amor, ajuda, incentivo e por estar sempre ao meu lado.

Ao professor José Luiz Rangel, pela orientação, ensinamentos, dedicação, confiança e auxílio ao longo de todo o trabalho.

Aos professores Leonardo Pedroti e Gustavo Veríssimo pela ajuda e contribuições essenciais para a realização deste trabalho.

Ao professor Alexandre Bertini, por ter aceito participar da banca deste trabalho e contribuído para melhorá-lo.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil da UFV, em especial, José Carlos Lopes e Rita de Cássia (in memoriam).

Aos amigos e companheiros de mestrado, Brasão, Alba, Ricardo, Felipe, Marina, Larice, Lorena, Alex, João Vitor, Márcia, Priscilla, Elder, Minhaneli, Edivaldo e Petruski, pela amizade, ajuda e momentos vividos.

Ao engenheiro eletricitista André, pelas contribuições e colaboração fundamentais ao trabalho.

Aos funcionários do LEC, em especial, ao Zé Carlos e ao Wellington.

À Pró-Reitoria de Administração da UFV, especialmente à Pró-Reitora
Leiza Maria Granzinoli, pelo apoio à realização da parte
experimental deste trabalho.

Ao Raimundo e sua equipe, em especial aos pedreiros Romeu e Vicente e
ao serralheiro Luís, pela construção dos modelos experimentais.

Ao serralheiro Vicente e eletricista Sebastião, pela execução do painel
radiante.

Ao Jefferson e sua equipe, pela execução dos tratamentos de
impermeabilização.

Ao professor Delly Oliveira, do Departamento de Engenharia Agrícola,
pelo empréstimo da câmara térmica.

Ao José Mauro, ao Assis e ao Vitor da carpintaria.

E a todos que de alguma forma contribuíram e torceram para que este
trabalho desse certo, fica aqui o meu muito obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1 Introdução	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo principal	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Justificativa e relevância do tema	4
1.3 Estrutura da dissertação	5
2 Fundamentação Teórica.....	7
2.1 Considerações preliminares	7
2.2 Classificação para sistemas de vedação vertical em alvenaria	7
2.2.1 Quanto à continuidade dos panos	8
2.2.2 Quanto ao posicionamento em relação à estrutura	10
2.2.3 Quanto à rigidez das ligações	12
2.3 Tipos de juntas em alvenaria.....	14
2.3.1 Juntas de dilatação	14
2.3.2 Juntas de movimentação	14
2.4 Interfaces alvenaria-estrutura de aço	15
2.5 Manifestações patológicas identificadas em juntas e interfaces em alvenaria	16
2.6 Tipos de tratamento de impermeabilização de juntas e interfaces.....	17
2.6.1 Tratamento com selantes.....	18
2.6.2 Tratamento com manta de elastômero EPDM, emulsão acrílica e tela de poliéster proposto por Santos (2016).....	21
2.7 Procedimentos de ensaio para avaliação do desempenho prescritos pela ABNT NBR 15575-4:2013	24
2.7.1 Procedimento de ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	24

2.7.2	Procedimento de ensaio de estanqueidade	26
2.8	Ensaio para avaliação do desempenho realizados por outros autores	28
2.8.1	Trabalho realizado por Varisco (2014)	28
2.8.2	Trabalho realizado por Moraes (2015)	31
2.8.3	Trabalho realizado por Magalhães (2016)	35
2.8.4	Trabalho realizado por Sathler (2018)	38
3	Materiais e Métodos	40
3.1	Considerações preliminares	40
3.2	Desenvolvimento e construção de um painel radiante	42
3.2.1	Características do painel radiante	42
3.2.2	Construção do painel radiante	43
3.3	Modelo experimental	50
3.3.1	Características do modelo experimental	50
3.3.2	Materiais utilizados no modelo experimental	55
3.3.2.1	Argamassas	55
3.3.2.2	Blocos cerâmicos furados	55
3.3.3	Construção do modelo experimental de parede	56
3.3.4	Tratamento das juntas	60
3.3.4.1	Tratamento com selante à base de poliuretano	60
3.3.4.2	Tratamento com manta de elastômero EPDM	62
3.4	Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	67
3.4.1	Procedimento de ensaio	67
3.5	Ensaio de estanqueidade à água	72
3.5.1	Procedimento de ensaio	72
3.5.2	Avaliação da penetração de água nas juntas verticais	79
4	Resultados e Discussão	81
4.1	Considerações preliminares	81
4.2	Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano	82
4.2.1	Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	82
4.2.2	Ensaio de estanqueidade à água	95

4.3	Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM	100
4.3.1	Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	100
4.3.2	Ensaio de estanqueidade à água	114
4.4	Modelo com pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM	118
4.4.1	Ensaio de estanqueidade à água	118
4.5	Avaliação da fissuração no modelo experimental	120
5	Conclusões	127
5.1	Conclusões gerais.....	127
5.2	Conclusões específicas.....	129
5.2.1	Painel radiante.....	129
5.2.2	Modelo com junta tratada com selante à base de poliuretano	129
5.2.3	Modelo com junta tratada com manta de elastômero EPDM	130
5.3	Sugestões para trabalhos futuros.....	131
	Referências Bibliográficas	132
	Apêndice A	136
	Apêndice B.....	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de classificação para sistemas de vedação em alvenaria.	8
Figura 2 – Alvenaria formada por panos contínuos e detalhe da ligação laje-alvenaria.	9
Figura 3 – Casos de alvenarias formadas por panos descontínuos: a) seccionada por uma viga; b) seccionada por uma laje.....	10
Figura 4 – Situações possíveis para alvenarias inseridas no plano da estrutura: a) alvenaria posicionada no eixo da estrutura, chegando na mesa do pilar de aço; b) alvenaria fora do eixo da estrutura, chegando na mesa do pilar de aço; c) alvenaria no eixo da estrutura, chegando na alma do pilar de aço; d) alvenaria fora do eixo da estrutura, chegando na alma do pilar de aço.	11
Figura 5 – Exemplos de alvenaria fora do plano da estrutura: a) alvenaria externa à estrutura; b) alvenaria interna à estrutura.....	11
Figura 6 – Alvenaria vinculada por meio de tela eletrossoldada.	12
Figura 7 – Exemplo de alvenaria desvinculada.	13
Figura 8 – Barras de fixação utilizadas como vínculo entre a alvenaria e um pilar: a) Laboratório de Engenharias da UFV; b) detalhe das barras de fixação.....	14
Figura 9 – Exemplos de manifestações patológicas: a) descolamento do silicone de juntas de movimentação horizontal; b) estufamento do revestimento cerâmico aplicado sobre elementos metálicos que promovem desvinculação do fechamento vertical.....	16
Figura 10 – Exemplos de falhas em juntas: a) ruptura do selante a base de poliuretano em uma junta vertical; b) ruptura do revestimento de argamassa próximo a uma junta horizontal tratada com selante à base de silicone.....	17
Figura 11 – Tipos de solicitações que podem atuar sobre um selante.	18
Figura 12 – Junta com fator de forma 2:1.....	19
Figura 13 – Detalhe do posicionamento do delimitador de profundidade tipo Tarucel® em uma junta.....	19
Figura 14 – Junta de movimentação em uma fachada com acabamento em selante acrílico. .	20
Figura 15 – Principais tipos de falha em juntas de alvenaria com aplicação de selante.....	21
Figura 16 – Manta de elastômero EPDM cortada em faixas (a) e sua preparação antes de ser aplicada (b).....	22
Figura 17 – Teste piloto de aplicação da manta de elastômero EPDM: a) preparação da superfície a ser tratada; b) aplicação do adesivo na superfície a ser tratada; c) aplicação do adesivo sobre a manta de elastômero EPDM; d) aplicação da manta sobre a interface; e)	

aplicação da tela de poliéster e emulsão acrílica; f) interface após o término do tratamento de impermeabilização.	23
Figura 18 – Alvenaria formada por panos descontínuos, fora do plano da estrutura de aço: a) com a utilização de selante; b) com aplicação da manta de elastômero EPDM.	24
Figura 19 – Esquema de montagem e instrumentação do corpo de prova segundo a ABNT NBR 15575-4:2013: a) posicionamento dos termopares na superfície do corpo de prova; b) posicionamento do defletômetro.	25
Figura 20 – Esquema de montagem do corpo de prova para o ensaio de estanqueidade.	27
Figura 21 – Esquema de dispositivos para medida de vazão.	28
Figura 22 – Modelos experimentais de parede utilizados por Varisco (2014).	29
Figura 23 – Aspecto geral da câmara de estanqueidade desenvolvida pela ITA-LATEC, utilizada nos ensaios de estanqueidade de Varisco (2014).	29
Figura 24 – Aspectos gerais do painel radiante utilizado no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico: a) disposição das lâmpadas incandescentes painel radiante; b) posicionamento do painel radiante para realização do ensaio; c) dispositivo de resfriamento.	30
Figura 25 – Aspecto geral do modelo experimental após o término de um ciclo do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico: a) imagem comum após o resfriamento; b) termografia antes do resfriamento.	31
Figura 26 – Aspecto geral do painel radiante utilizado por Moraes (2015): a) vista posterior externa; b) vista lateral externa.	32
Figura 27 – Posicionamento dos termopares nos modelos experimentais: a) suporte utilizado; b) posicionamento dos termopares.	33
Figura 28 – Dispositivos acoplados ao painel radiante: a) field logger; b) termopar adicional ao lado do termopar 4; c) controlador.	34
Figura 29 – Placas móveis posicionadas sobre pequenas aberturas no painel radiante.	34
Figura 30 – Saídas da água de resfriamento junto ao painel radiante.	35
Figura 31 – Aspectos gerais do forno modular desenvolvido no FECIV-UFU: a) vista do interior do forno com resistências tubulares aletadas; b) vista do exterior do forno na posição de ensaio.	36
Figura 32 – Esquemas para o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico: a) painel posicionado para realização do ensaio; b) resfriamento do painel.	37
Figura 33 – Sistema de resfriamento dos painéis de concreto.	38

Figura 34 – Aspecto geral da câmara de estanqueidade desenvolvida por Sathler (2018) no LMC do DEC/UFV.....	39
Figura 35 – Esquema da câmara de estanqueidade desenvolvida no LMC do DEC/UFV.....	39
Figura 36 – Fluxograma de ensaios realizados em cada exemplar do modelo experimental de parede.....	42
Figura 37 – Perspectiva do painel radiante (dimensões internas e externas em centímetros).	43
Figura 38 – Aspectos da construção do painel radiante: a) estrutura com perfis retangulares tubulares; b) revestimento externo com chapas de aço galvanizado; c) preenchimento das paredes externas com lã de vidro; d) revestimento das paredes internas com chapas de aço inoxidável.....	44
Figura 39 – Aspectos gerais do painel radiante: a) vista frontal do painel; b) vista posterior do painel; c) vista do interior do painel com as resistências elétricas instaladas.....	45
Figura 40 – Estrutura de suporte do painel radiante: a) vista em perspectiva; b) vista frontal (dimensões em centímetros).	46
Figura 41 – Aspectos gerais do painel radiante concluído: a) estrutura de suporte; b) painel radiante posicionado sobre a estrutura de suporte.	47
Figura 42 – Resistência elétrica tubular aletada.	47
Figura 43 – Vista posterior do painel com identificação dos grupos de aquecimento.	48
Figura 44 – Controladores de temperatura utilizados nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.....	49
Figura 45 – Quadro de distribuição de circuitos, com identificação dos contatores e disjuntores.	49
Figura 46 – Esquema do circuito elétrico criado.	50
Figura 47 – Esquema do modelo experimental (dimensões em centímetros).	51
Figura 48 – Detalhe da junta de movimentação vertical do modelo experimental tratada com selante à base de poliuretano: a) posicionamento dos grampos horizontais em uma junta horizontal; b) posicionamento da barra de transferência em uma junta horizontal (dimensões em centímetros).	53
Figura 49 – Detalhe da junta de movimentação vertical do modelo experimental tratada com manta de elastômero EPDM: a) posicionamento dos grampos horizontais em uma junta horizontal; b) posicionamento da barra de transferência em uma junta horizontal (dimensões em centímetros).	54

Figura 50 – Instalação dos pilares de aço dos modelos experimentais: a) execução dos furos; b) instalação dos pilares de aço; c) aspecto da concretagem do entorno do pilar.....	56
Figura 51 – Assentamento dos blocos: a) primeira fiada em blocos de concreto; b) fiadas subsequentes em blocos cerâmicos furados.	57
Figura 52 – Detalhe da colocação dos grampos nas juntas horizontais de argamassa da alvenaria.....	58
Figura 53 – Detalhe de colocação de uma barra de transferência em uma junta horizontal de argamassa, com uma metade do comprimento engraxada.	58
Figura 54 – Aspecto geral dos dois exemplares do modelo experimental após a conclusão do assentamento dos blocos cerâmicos.....	59
Figura 55 – Vista posterior dos exemplares do modelo experimental: a) detalhe dos grampos horizontais soldados ao pilar de aço; b) detalhe do pilar em relação à alvenaria.	59
Figura 56 – Aspectos do modelo experimental: a) modelo experimental chapiscado na face externa; b) preparação do rebaixo da junta de movimentação; c) modelo com argamassa de revestimento finalizada.	60
Figura 57 – Procedimento de aplicação do selante à base de poliuretano: a) raspagem do isopor; b) limpeza da superfície; c) inserção do delimitador de profundidade; d) aplicação da fita adesiva nas bordas da junta; e) aplicação do selante; f) alisamento da superfície do selante com espátula; g) acabamento com mistura de água e sabão; h) detalhe da junta finalizada.	61
Figura 58 – Exemplares do modelo experimental após finalização do tratamento com selante: a) faces externas; b) faces internas.....	62
Figura 59 – Materiais utilizados na preparação da manta de elastômero EPDM: a) tiras de elastômero EPDM cortadas com 7,0 cm de largura; b) fita de caldeação; c) manta de elastômero EPDM pronta para aplicação.....	63
Figura 60 – Aplicação da manta de elastômero EPDM: a) lixamento da superfície; b) limpeza dos resíduos; c) aplicação da primeira demão do adesivo na junta; d) retirada do papel protetor da fita de caldeação fixada à tira de manta de elastômero EPDM; e) aplicação do adesivo sobre a manta de elastômero EPDM; f) aplicação da segunda demão do adesivo sobre a junta; g) aplicação da manta de elastômero EPDM sobre a junta; h) detalhe da junta após aplicação da manta de elastômero EPDM.	64
Figura 61 – Modelo experimental após a aplicação da manta de elastômero EPDM.....	64
Figura 62 – Aspecto geral da tela de poliéster (a) e emulsão acrílica (b) utilizados.	65

Figura 63 – Aplicação da emulsão acrílica e tela de poliéster: a) aplicação da primeira demão de emulsão acrílica sobre a manta de elastômero EPDM; b) aplicação da segunda demão de emulsão acrílica juntamente com a tela de poliéster; c) detalhe da junta após aplicação da quarta demão de emulsão acrílica.	66
Figura 64 – Modelo experimental após a conclusão do tratamento com manta de elastômero EPDM.	66
Figura 65 – Posicionamento termopares na superfície do modelo experimental.	68
Figura 66 – Procedimento de resfriamento do modelo experimental com auxílio de uma mangueira com bico aspersor de água.	69
Figura 67 – Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico em andamento.	70
Figura 68 – Aspecto geral da câmera térmica (marca FLIR – modelo E60) utilizada nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.	71
Figura 69 – Termômetro infravermelho utilizado nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.....	71
Figura 70 – Fluxograma de execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.	72
Figura 71 – Equipamentos ligados à câmara de estanqueidade: a) compressor de ar; b) manômetro tipo coluna líquida em “U”.	75
Figura 72 – Termohigrômetro.....	75
Figura 73 – Controlador Arduíno para monitoramento da câmara de estanqueidade: a) display do controlador Arduíno, com valores de vazão (L/min/m ²), temperatura ambiente no interior da câmara (°C) e umidade no interior da câmara (%); b) sensor de fluxo de água.	76
Figura 74 – Dispositivos para controle da vazão no interior da câmara de estanqueidade: a) fonte regulável de 12 V; b) bomba centrífuga.	76
Figura 75 – Equipamento montado para ensaio de estanqueidade à água.	77
Figura 76 – Fluxograma de execução do ensaio de estanqueidade à água.	77
Figura 77 – Aspectos gerais dos exemplares do modelo experimental após pintura com tinta acrílica: a) vista frontal; b) vista geral dos dois exemplares.	79
Figura 78 – Câmara de estanqueidade instalada para início ensaio de estanqueidade à água no modelo PAR-JV-R2, pintado com tinta acrílica.	79
Figura 80 – Caixa de isopor utilizada nos registros fotográficos.....	80

Figura 80 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental PAR-JV-R1, tratado com selante à base de poliuretano, após aquecimento.....	83
Figura 81 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1, tratado com selante à base de poliuretano, após aquecimento.....	84
Figura 82 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 após o término do ciclo 10. .	85
Figura 83 – Modelo PAR-JV-R1 antes do início dos ensaios.	86
Figura 84 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1 na região A indicada.	86
Figura 85 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1 na região B indicada.	87
Figura 86 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1 na região C indicada.	87
Figura 87 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental PAR-JV-R2, tratado com selante à base de poliuretano, após aquecimento.....	89
Figura 88 – Imagens térmicas do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental PAR-JV-R2, tratado com selante à base de poliuretano, após aquecimento.....	90
Figura 89 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R2 após o término do ciclo 10. .	91
Figura 90 – Modelo experimental PAR-JV-R2 antes do início dos ensaios.....	92
Figura 91 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2 na região A indicada.	92
Figura 92 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2 na região B indicada.	93
Figura 93 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2 na região C indicada.	93
Figura 94 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1: a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.....	96
Figura 95 – Resultado da análise das manchas de umidade do modelo experimental PAR-JV-R1: a) tela do programa computacional de processamento de imagens; b) comparação entre a imagem real e a obtida por meio do programa.	97

Figura 96 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R2: a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.....	98
Figura 97 – Resultado da análise das manchas de umidade do modelo experimental PAR-JV-R2: a) imagem da parede; b) imagem processada.....	98
Figura 98 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental PAR-JV-R1, tratado com manta de elastômero EPDM, após aquecimento.	102
Figura 99 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1, tratado com manta de elastômero EPDM, após aquecimento.	103
Figura 100 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 após o término do ciclo 8.	104
Figura 101 – Modelo experimental PAR-JV-R1 antes do início dos ensaios.....	105
Figura 102 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1, na região A indicada.	106
Figura 103 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1, na região B indicada.	106
Figura 104 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1, na região C indicada.	107
Figura 105 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental PAR-JV-R2, tratado com manta de elastômero EPDM, após aquecimento.	109
Figura 106 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental PAR-JV-R2, tratado com manta de elastômero EPDM, após aquecimento.	110
Figura 107 – Face interna modelo experimental PAR-JV-R2 após o término do ciclo 10. ..	111
Figura 108 – Modelo experimental PAR-JV-R 2 antes do início dos ensaios.....	112
Figura 109 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2, na região A indicada.	112
Figura 110 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2, na região B indicada.	113
Figura 111 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2, na região C indicada.	113

Figura 112 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1: a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.	115
Figura 113 – Resultado da análise das manchas de umidade do modelo experimental PAR-JV-R1: a) imagem da parede; b) imagem processada.....	116
Figura 114 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R2: a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.	116
Figura 115 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1: a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.	119
Figura 116 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R2: a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.	119
Figura 117 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 com identificação das regiões onde apareceram as manchas de umidade e destaque para as fissuras horizontais.	121
Figura 118 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1: a) fissura horizontal 1 na região da maior mancha de umidade na área de ensaio; b) corte na argamassa de revestimento na região citada.....	121
Figura 119 – Fissuras horizontais dentro da área do ensaio de estanqueidade na face interna no modelo experimental PAR-JV-R1: a) fissura horizontal 2; b) fissura horizontal 3.....	122
Figura 120 – Fissuras horizontais na face interna do modelo PAR-JV-R2.	123
Figura 121 – Esquema da face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 após término dos ensaios, com identificação das manchas de umidade, áreas de ensaio, fissuras horizontais, grampos e barras de transferência (dimensões em centímetros).....	124
Figura 122 – Esquema da face interna do modelo experimental PAR-JV-R2 após término dos ensaios, com identificação das manchas de umidade, áreas de ensaio, fissuras horizontais, grampos e barras de transferência (dimensões em centímetros).....	125

RESUMO

FRANCO, Rayane Neves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Avaliação do desempenho quanto à estanqueidade de juntas sujeitas a envelhecimento acelerado, utilizadas em sistemas de vedação vertical externa em alvenaria para estruturas de aço.** Orientador: Leonardo Gonçalves Pedroti. Coorientadores: José Luiz Rangel Paes e Gustavo de Souza Veríssimo.

No âmbito das construções em aço, tem sido comum a ocorrência de problemas de estanqueidade nas juntas e interfaces entre alvenaria e estrutura de aço, o que leva a uma deterioração precoce da estrutura e diminui a vida útil da edificação. Neste trabalho aborda-se a avaliação do desempenho quanto à estanqueidade de juntas típicas utilizadas em sistemas de vedação vertical externa (SVVE) em alvenaria para estruturas de aço, sujeitas a envelhecimento acelerado. Para isso, foi desenvolvido um painel radiante seguindo as prescrições da ABNT NBR 15575-4:2013 e foram construídos dois exemplares de um modelo experimental com junta vertical. As juntas do modelo foram inicialmente tratadas com selante à base de poliuretano, e posteriormente com manta de elastômero EPDM. Foram realizados ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e ensaios de estanqueidade à água, com base na norma citada. No caso das juntas tratadas com manta de elastômero EPDM, também foram realizados ensaios de estanqueidade com a face externa do modelo pintada com tinta acrílica. Observou-se que após os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico o selante à base de poliuretano e a manta de elastômero EPDM não sofreram degradações perceptíveis e que houve o surgimento de fissuras horizontais na face interna dos exemplares do modelo experimental. As manchas de umidade, identificadas no modelo experimental nos ensaios de estanqueidade à água, se deram pela passagem de água por meio das fissuras horizontais introduzidas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e não pela junta vertical para ambos os tratamentos. Existem fortes evidências de que a fissuração horizontal pode ter sido induzida pela presença dos grampos inseridos nas juntas horizontais, que acabaram transferindo o deslocamento devido à dilatação do pilar de aço para a alvenaria. A inexistência de manchas de umidade nos exemplares com face externa pintada com tinta acrílica, após o ensaio de estanqueidade à água, evidencia que a tinta acrílica foi capaz de selar as fissuras na superfície da argamassa e confirma que o tratamento da junta vertical com manta de elastômero EPDM apresentou bom desempenho quanto à estanqueidade à água.

ABSTRACT

FRANCO, Rayane Neves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Evaluation of the performance in terms of watertightness of joints used in external vertical sealing systems in masonry for steel structures, subjected to accelerated aging.** Adviser: Leonardo Gonçalves Pedroti. Co-advisers: José Luiz Rangel Paes and Gustavo de Souza Veríssimo.

In the context of steel constructions, it has been common the occurrence of watertightness problems in the joints and interfaces between masonry and steel structure, which leads to an early deterioration of the structure and decreases the service life of the building. This research aims to evaluate the performance in terms of watertightness of typical joints used in external vertical sealing systems (EVS) in masonry for steel structures, subjected to accelerated aging. For this purpose, a radiant panel was developed following the requirements of ABNT NBR 15575-4:2013 and two specimens of an experimental model with vertical joint were constructed. The joints of the experimental model were treated with a polyurethane sealant, and later treated with an EPDM rubber splice tape. It was carried out heat exposure and thermal shock tests and watertightness tests, based on the cited standard. In the case of joints treated with EPDM rubber splice tape, the watertightness tests were also carried out with the external face of the experimental model painted with acrylic paint. It was noted that after the heat exposure and thermal shock tests, the polyurethane sealant and the EPDM rubber splice tape did not suffer noticeable degradation and it was also noted that horizontal cracks appeared on the inner face of the specimens of the experimental model. The moisture spots identified on the experimental model during the water tightness tests occurred due to the passage of water through the horizontal cracks introduced in the heat exposure and thermal shock test and not by the vertical joint for both treatments. There are strong evidences that horizontal cracking may have been induced by the presence of the connectors inside the horizontal joints, which eventually transferred the displacement suffered by the steel pillar due to the expansion to the masonry. The absence of moisture spots on the experimental model with its external face painted with acrylic paint, after the watertightness test, shows that the acrylic paint was able to stagnate the cracks in the surface of the mortar and confirms that the treatment of the vertical joint with EPDM rubber splice tape showed good performance in terms of watertightness.

1

Introdução

As estruturas de aço vêm sendo cada vez mais empregadas na construção civil. Isso se deve ao fato delas permitirem, em geral, racionalização do processo construtivo, redução no tempo de execução, redução nos desperdícios e também no peso da obra. No entanto, esses aspectos se tornam vantagens destacáveis somente quando a estrutura é plenamente compatibilizada com os demais sub-sistemas construtivos utilizados em uma edificação. Caso contrário, os resultados serão similares aos de outros sistemas construtivos quando mal executados ou projetados, demandando retrabalhos durante ou após as obras, que causam consumo de tempo e dinheiro, e também a ocorrência de manifestações patológicas (NAKAMURA, 2011).

Em se tratando de compatibilização de interfaces entre a estrutura de aço e sistemas complementares, um dos pontos que se destaca em termos críticos são os sistemas de vedação vertical, sobretudo as alvenarias (NAKAMURA, 2011). No Brasil, o sistema de vedação vertical em alvenaria ainda é o mais utilizado, apesar de existirem diversas outras opções, como a utilização de painéis pré-fabricados de concreto, fechamento em Light Steel Framing, dentre outros. Segundo Santos (2016), alguns dos motivos para o emprego do sistema de vedação vertical em alvenaria são: o custo mais baixo em relação às soluções de maior grau tecnológico, a não exigência de uma mão de obra especializada, disponibilidade de seus componentes no mercado e, também, a tradição histórica do país de construir por meio da união de blocos.

Em edificações de múltiplos andares com estrutura de aço, o sistema de vedação vertical tem influência no desempenho da construção, principalmente com relação à estanqueidade e à

durabilidade (SANTOS et al., 2016). Hutchinson et al. (1995) afirmam que o exterior de um edifício deve ser protegido contra intempéries para evitar que a chuva direcionada pelo vento entre na estrutura, pois a penetração de água geralmente leva a problemas de umidade, além de causar deterioração estrutural.

A utilização conjunta de materiais que possuem comportamentos diferentes chama atenção para as ligações, que são pontos que precisam ser projetados, detalhados e executados devidamente, de forma a permitir um desempenho adequado do conjunto (CBCA, 2014). Segundo Hutchinson et al. (1995), as juntas representam partes vitais dos edifícios e precisam ser projetadas, construídas e vedadas de maneira profissional, para que não se tornem o elo fraco no desempenho da estrutura do edifício. Dessa forma, os materiais vedantes têm um papel oneroso a desempenhar nas estruturas de construções modernas, na medida em que precisam ser capazes de: aderir a uma ampla variedade de substratos, acomodar movimentos multidirecionais, resistir a fatores ambientais degradantes, manter qualidades estéticas adequadas e durar o maior tempo possível.

A indústria da construção é confrontada com um número cada vez maior de edifícios que requerem a substituição do material vedante, alguns dos quais podem ter defeitos inerentes que variam desde escolha incorreta do selante ou má aplicação, a falhas de projeto mais sérias. Além disso, a reaplicação de selante em juntas de edifícios precisa ser executada, quantas vezes forem necessárias, durante a vida útil da edificação. A reparação de juntas seladas no Reino Unido representa cerca de 75% de todos os selantes utilizados, o que equivale a uma substituição de cerca de 100.000 km de juntas por ano (HUTCHINSON et al., 1995).

No Brasil, os selantes têm sido amplamente utilizados para tratamento de juntas e interfaces. Porém, tem-se verificado diversas falhas nesses tratamentos, que geralmente estão relacionadas à aplicação inadequada do selante ou à não substituição desse material ao fim de sua vida útil. Tendo em vista esses problemas, Santos (2016), que também desenvolveu o seu trabalho de Mestrado no Grupo de Pesquisa de Engenharia da Construção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV), propôs recomendações para projeto e detalhamento de juntas e interfaces alvenaria-estrutura de aço. Nesse trabalho, as juntas e interfaces foram impermeabilizadas com auxílio de manta de elastômero EPDM (etileno-propileno-dieno-monômero), tela de poliéster e emulsão acrílica, o que se mostrou

eficaz após a realização de um ensaio de campo em um edifício que teve suas juntas e interfaces recuperadas.

Baseado nisto, entende-se que é importante verificar a eficiência dos tratamentos de impermeabilização com selante e com manta de elastômero EPDM para tratamento de juntas. Dessa forma, o presente trabalho envolve a avaliação de desempenho quanto à estanqueidade de juntas utilizadas em sistemas de vedação vertical externa (SVVE) em alvenaria para estruturas de aço. Para que essa avaliação possa representar de forma adequada o comportamento desses tratamentos ao longo de sua vida útil, é necessário provocar um envelhecimento acelerado de paredes e juntas, com a realização de ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico nos modelos experimentais antes da realização dos ensaios de estanqueidade à água.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o desempenho quanto à estanqueidade de juntas típicas de sistemas de vedação vertical externa em alvenaria para estruturas de aço, sujeitas a envelhecimento acelerado.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- avaliar o grau de deterioração de juntas utilizadas em alvenaria para vedação externa, submetidas a um processo de envelhecimento acelerado com exposição à ação do calor e choque térmico;
- avaliar a penetração de água na alvenaria, a fim de verificar a eficiência das juntas quanto à estanqueidade;
- realizar uma avaliação crítica dos tipos de tratamento utilizados em juntas verticais utilizadas em sistemas de vedação vertical externa em alvenaria.

1.2 Justificativa e relevância do tema

Grande parte dos problemas patológicos que ocorrem em estruturas de aço estão comumente relacionados à passagem de água por juntas e interfaces utilizadas nos sistemas de vedação vertical externa (SVVE). Isso se deve, principalmente, ao tratamento inadequado de juntas e interfaces entre alvenaria e estrutura de aço e à não substituição do material vedante ao final de sua vida útil.

Vários estudos têm focado na deterioração dos componentes de juntas utilizados em sua vedação para determinar métodos adequados de avaliação de perdas pertinentes de características físicas ou químicas, ou ainda para estabelecer métodos para avaliar o desempenho esperado a longo prazo. Entretanto, menos ênfase tem sido dada no entendimento das consequências da falha de vedação ao longo das juntas, em particular com relação à estanqueidade na junta (LACASSE et al., 2009). Como, por exemplo, saber se a passagem de água na região da junta é fruto da ineficiência do sistema de impermeabilização utilizado, do modo de aplicação inadequado ou de falhas na construção ou nos materiais empregados nela.

Lacasse et al. (2009) afirmam, ainda, que produtos usados em vedação estão sujeitos a uma série de efeitos climáticos, alguns dos quais induzem envelhecimento que, com o tempo, pode levar ao aparecimento de aberturas ou falhas ao longo da junta, como por exemplo, em selantes. Essas falhas também podem surgir devido a erros na instalação ou instalação imprópria. E, por consequência dos efeitos de envelhecimento ou falta de atenção aos detalhes ou na prática da instalação, tais falhas são inerentes a qualquer sistema de juntas. Esses mesmos autores afirmam que pesquisas feitas em construções no Japão mostram que a maior parte dos defeitos e reclamações são devido a vazamento de água em paredes externas. Além disso, uma pesquisa realizada no Reino Unido em 1990 indicava que 55% das juntas falham em menos de dez anos e apenas 15% duram mais que vinte anos.

Devido a problemas como esses, Santos (2016) propôs uma forma de tratamento de impermeabilização para juntas e interfaces entre estrutura de aço e alvenaria utilizando uma manta de elastômero EPDM, tela de poliéster e emulsão acrílica. Na Universidade Federal de Viçosa (UFV) este tratamento tem sido adotado para impedir a entrada de água nas estruturas metálicas. No entanto, apenas um ensaio de campo para avaliação da eficácia deste método de impermeabilização foi realizado na UFV. Diante deste cenário, torna-se importante a

realização de ensaios experimentais em laboratório para avaliar a eficiência do tratamento proposto.

Além disso, é interessante ensaiar juntas tratadas com selante, um método de impermeabilização muito utilizado, mas que frequentemente tem seu desempenho comprometido por uma utilização errônea, ou por não ser efetuada a sua troca após o término de sua vida útil. Assim, pretende-se verificar também a eficiência deste método de tratamento de juntas.

Outro aspecto que evidencia a importância deste trabalho, é que a partir de julho de 2013, entrou em vigor a ABNT NBR 15575:2013: Edificações habitacionais – Desempenho. No Anexo C da Parte 4 desta norma é definido um método para verificar a estanqueidade à água de sistemas de vedação vertical externa (SVVE), por meio de procedimentos de laboratório. Além disso, no Anexo E da Parte 4 desta mesma norma é apresentado um método para verificar o comportamento de SVVE submetidos a ciclos sucessivos de calor, proveniente de fonte radiante, seguidos de resfriamento por meio de jatos de água. Com auxílio desses ensaios é possível verificar experimentalmente o desempenho quanto à estanqueidade dos tratamentos propostos para juntas utilizadas em alvenarias de vedação para estruturas de aço, submetidas a envelhecimento acelerado, assim como realizar eventuais ajustes para que o sistema possa garantir a durabilidade desejada.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho foi subdividido em cinco capítulos, especificados a seguir.

No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica, onde encontra-se uma revisão bibliográfica a respeito da classificação para sistemas de vedação em alvenaria, tipos de juntas em alvenaria, tipos de interfaces alvenaria-estrutura de aço, patologias comumente encontradas em juntas e interfaces de edifícios de aço, tipos de tratamentos de juntas e interfaces e exemplos de ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e ensaios de estanqueidade realizados por outros autores, assim como os equipamentos por eles utilizados.

No Capítulo 3 apresentam-se os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, os projetos de concepção e o desenvolvimento do modelo experimental e do painel

radiante, a descrição dos tratamentos de impermeabilização realizados no modelo experimental e o procedimento dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e dos ensaios de estanqueidade realizados nos exemplares do modelo experimental.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados e discussão dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e dos ensaios de estanqueidade realizados nos exemplares do modelo experimental, assim como a avaliação da fissuração no modelo experimental.

No Capítulo 5 apresentam-se as conclusões gerais e específicas e sugestões para trabalhos futuros.

2

Fundamentação Teórica

2.1 Considerações preliminares

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica a respeito da classificação para sistemas de vedação em alvenaria, tipos de juntas em alvenaria, tipos de interfaces alvenaria-estrutura de aço, patologias comumente encontradas em juntas e interfaces de edifícios de aço, tipos de tratamentos de juntas e interfaces e exemplos de ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e ensaios de estanqueidade realizados por outros autores, assim como os equipamentos por eles utilizados.

2.2 Classificação para sistemas de vedação vertical em alvenaria

Segundo a ABNT NBR 15575-4:2013, os sistemas de vedação vertical interno e externo são partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas.

Santos (2016) propôs uma classificação para os sistemas de vedação vertical em alvenaria para estruturas de aço segundo alguns aspectos fundamentais: continuidade dos panos de alvenaria, posicionamento em relação à estrutura e rigidez das ligações. Na Figura 1 é apresentado um esquema desta classificação.

Figura 1 – Esquema de classificação para sistemas de vedação em alvenaria.



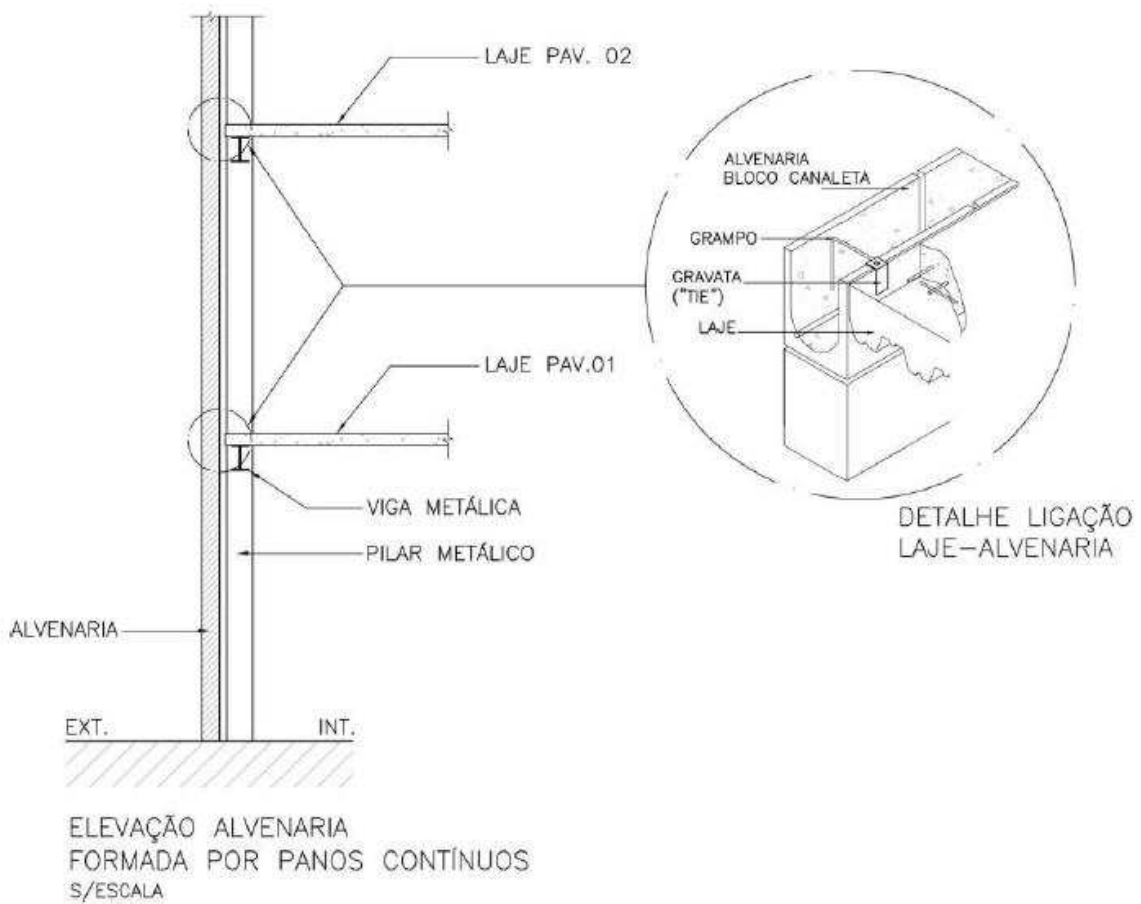
Fonte: Santos, 2016.

2.2.1 Quanto à continuidade dos panos

A continuidade ou não dos panos de alvenaria interfere no grau de interação entre a alvenaria e a estrutura. Com relação à continuidade dos panos, a alvenaria pode ser classificada em formada por panos contínuos e formada por panos descontínuos (SANTOS, 2016).

Quando formada por panos contínuos, também conhecidos como paredes cortinas, a alvenaria se desenvolve sem interrupções. Nestes casos, a alvenaria deve ser reforçada e ancorada no contato com a estrutura de aço, podendo ser necessário o uso de blocos estruturais. Na Figura 2 é exibida uma alvenaria formada por panos contínuos e o detalhe da ligação laje-alvenaria.

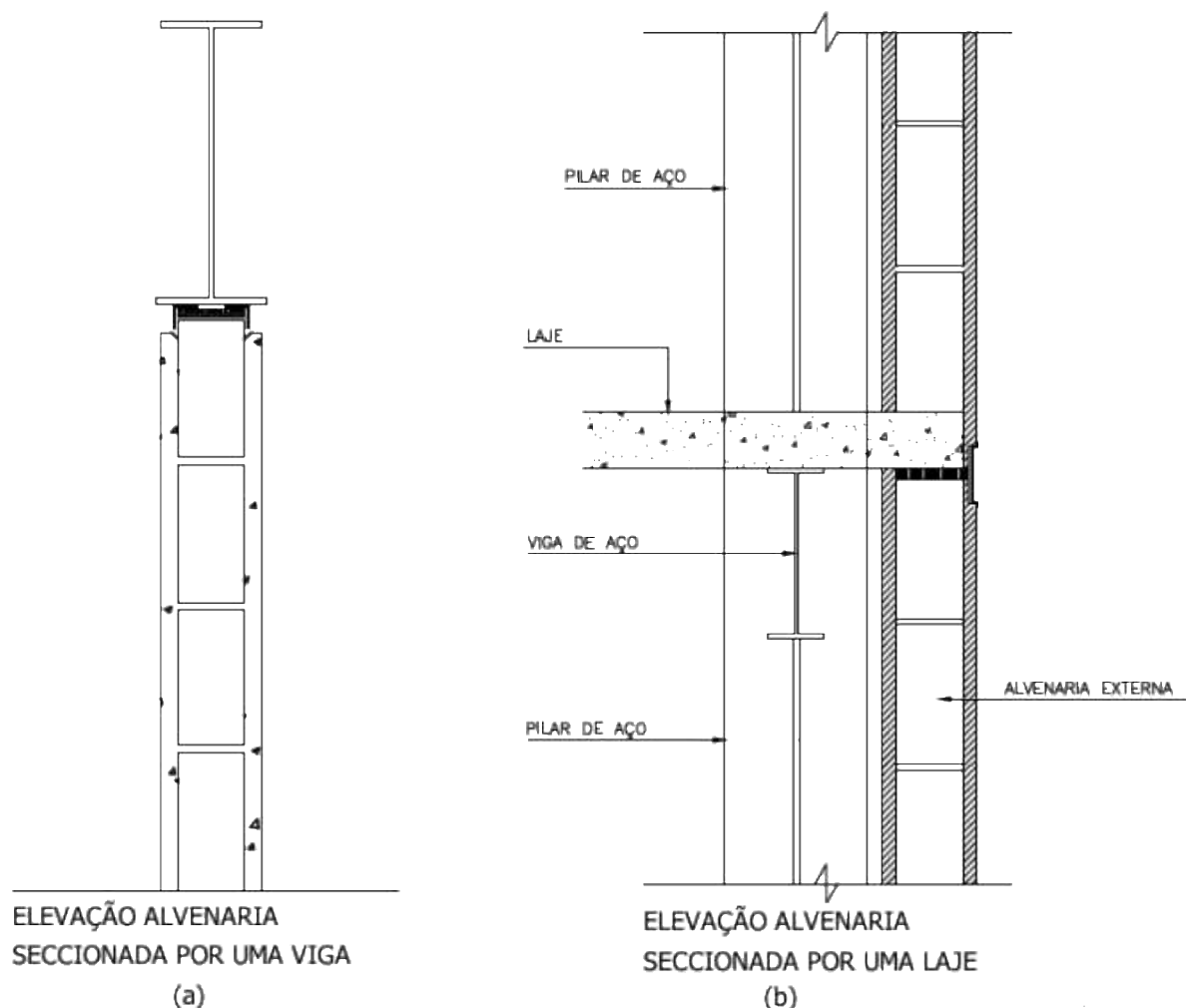
Figura 2 – Alvenaria formada por panos contínuos e detalhe da ligação laje-alvenaria.



Fonte: Santos, 2016.

Em situações onde a alvenaria é formada por panos descontínuos ocorre a sua interrupção por elementos estruturais, tais como vigas ou lajes. Na Figura 3 são mostrados exemplos de alvenarias formadas por panos descontínuos.

Figura 3 – Casos de alvenarias formadas por panos descontínuos:
a) seccionada por uma viga; b) seccionada por uma laje.



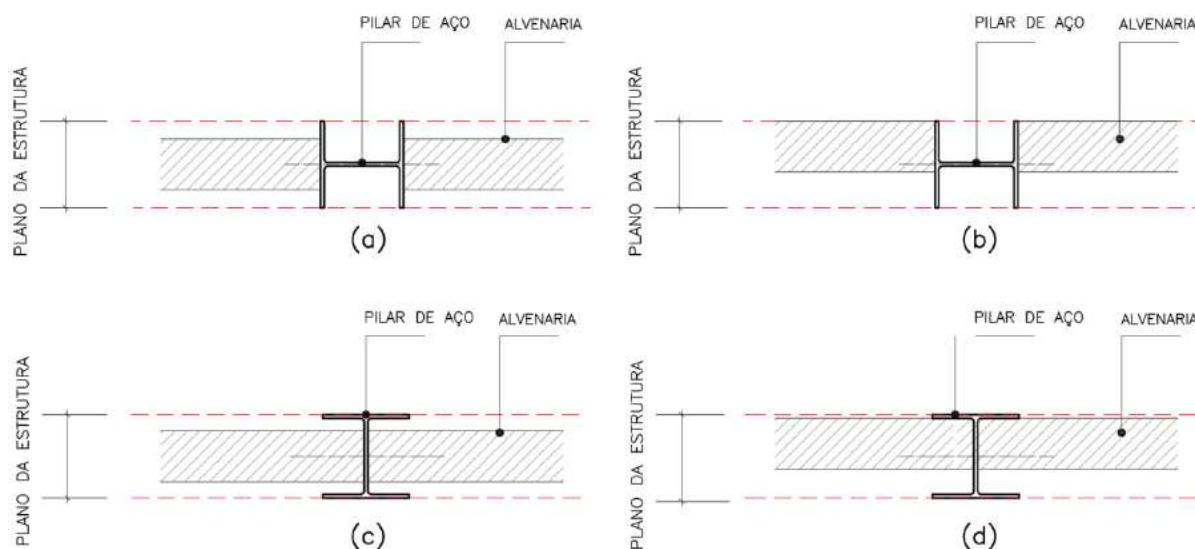
Fonte: Acervo José Luiz Rangel Paes.

2.2.2 Quanto ao posicionamento em relação à estrutura

Segundo Santos (2016) outro parâmetro para classificação da alvenaria de vedação é quanto ao seu posicionamento em relação à estrutura. Neste caso, a alvenaria pode ser classificada em “alvenaria inserida no plano da estrutura” ou “alvenaria fora do plano da estrutura”.

Para situações em que a alvenaria está inserida no plano da estrutura (Figura 4), a alvenaria e a estrutura fazem parte de um mesmo plano visual. Quando esta opção é adotada, a estrutura de aço fica evidente na fachada do edifício, intercalada pelos panos de alvenaria. Dessa forma, ambos encontram-se expostos a fatores ambientais.

Figura 4 – Situações possíveis para alvenarias inseridas no plano da estrutura: a) alvenaria posicionada no eixo da estrutura, chegando na mesa do pilar de aço; b) alvenaria fora do eixo da estrutura, chegando na mesa do pilar de aço; c) alvenaria no eixo da estrutura, chegando na alma do pilar de aço; d) alvenaria fora do eixo da estrutura, chegando na alma do pilar de aço.

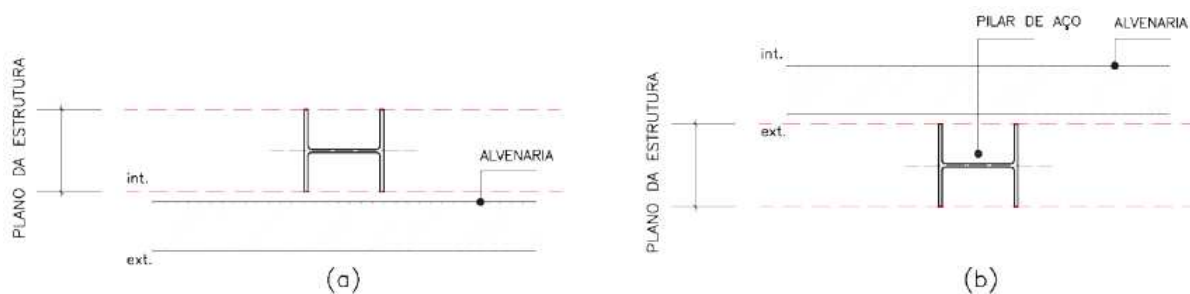


Fonte: Santos, 2016.

Para situações em que está fora do plano da estrutura, a alvenaria pode ser externa ou interna à estrutura. No caso em que a alvenaria estiver posicionada fora do plano e externa à estrutura (Figura 5.a), os elementos de aço ficam visíveis apenas de dentro da edificação. A alvenaria funciona como uma envoltória para a estrutura de aço, protegendo-a contra agentes externos.

Em situações em que a alvenaria encontra-se fora do plano e interna à estrutura (Figura 5.b), esta fica totalmente exposta, enquanto a alvenaria fica posicionada para dentro. Devido a esse afastamento, a alvenaria fica mais protegida.

Figura 5 – Exemplos de alvenaria fora do plano da estrutura: a) alvenaria externa à estrutura; b) alvenaria interna à estrutura.



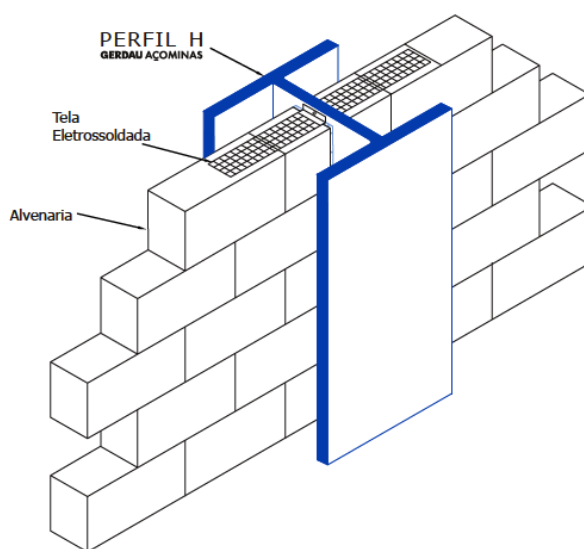
Fonte: Santos, 2016.

2.2.3 Quanto à rigidez das ligações

Santos (2016) também classifica as alvenarias em vinculadas e desvinculadas, conforme a rigidez das ligações. Este parâmetro se refere ao grau de vinculação entre a alvenaria e a estrutura de aço.

No caso da alvenaria vinculada, a alvenaria está ligada de maneira solidária à estrutura de aço, de tal modo que ambas trabalham em conjunto. Essa ligação solidária pode ser feita por meio de barras de aço, em forma de estribo ou gancho, soldadas à estrutura ou por meio de segmentos de telas eletrossoldadas (Figura 6). Para essas situações recomenda-se a utilização de argamassa fraca expansível no encontro da alvenaria com a estrutura. Caso a estrutura sofra alguma deformação, a alvenaria deverá ser capaz de acompanhar essa movimentação. Essa solução é recomendada para vãos de até 5 m (SANTOS, 2016).

Figura 6 – Alvenaria vinculada por meio de tela eletrossoldada.



Fonte: Coelho, 2004.

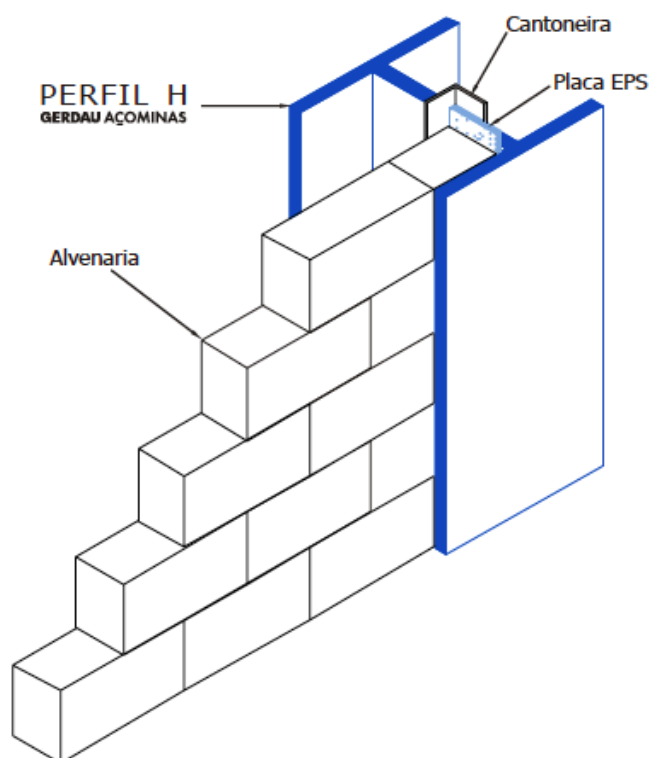
De acordo com Santos (2016), ainda é muito usual a utilização de alvenaria vinculada em estruturas com vãos grandes. Nestes casos, ocorre que a alvenaria não consegue comportar a movimentação da estrutura de aço e acabam aparecendo diversas manifestações patológicas nas alvenarias. Verificou-se, então, que a utilização da alvenaria desvinculada tende a reduzir a incidência dessas patologias.

No caso das alvenarias desvinculadas, a alvenaria e a estrutura trabalham separados uma da outra, já que a ligação entre eles não ocorre de maneira solidária. Nas situações em que a

alvenaria encontra-se no plano da estrutura, devem ser previstas juntas de movimentação em todas as interfaces alvenaria-estrutura. Geralmente coloca-se um material flexível entre todas as interfaces alvenaria-estrutura, geralmente o EPS, e cantoneiras de aço ou um perfil U para acomodar a alvenaria.

Um exemplo de uma alvenaria desvinculada chegando na alma de um pilar é apresentado na Figura 7.

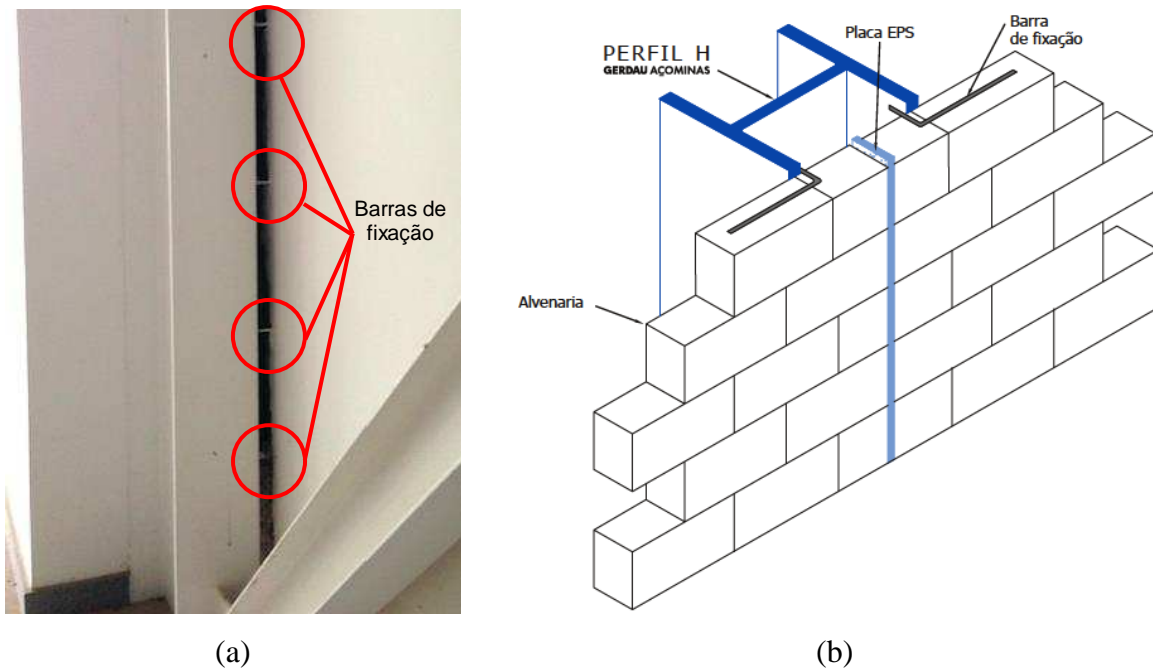
Figura 7 – Exemplo de alvenaria desvinculada.



Fonte: Coelho, 2004.

Nas situações em que a alvenaria desvinculada encontra-se fora do plano da estrutura, faz-se necessária a utilização de barras de fixação, também conhecidas como “ferros-cabelo” (Figura 8), que são barras de aço soldadas ao perfil de aço e inseridas nas camadas de argamassa de assentamento da alvenaria. A função destes dispositivos é criar uma vinculação da alvenaria à estrutura, de forma a conter a alvenaria lateralmente, mas de forma que não torne o conjunto rígido. Além disso, são previstas juntas de movimentação que segmentam o pano da alvenaria para acomodar suas deformações (SANTOS, 2016).

Figura 8 – Barras de fixação utilizadas como vínculo entre a alvenaria e um pilar:
a) Laboratório de Engenharias da UFV; b) detalhe das barras de fixação.



Fonte: a) A autora, 2019; b) Coelho, 2004.

2.3 Tipos de juntas em alvenaria

2.3.1 Juntas de dilatação

As alvenarias sob ação da temperatura estão sujeitas a movimentações e variações volumétricas. Segundo Silva (2004), para evitar que surjam tensões diferenciais e garantir a integridade das alvenarias, deve-se prever juntas de dilatação. Trata-se do seccionamento da alvenaria, em que se criam separações físicas para permitir a sua movimentação sem transmissão de esforço entre suas partes, o que poderia gerar fissuras (CORSINI, 2011).

A ABNT NBR 15961-1:2011 recomenda que sejam previstas juntas de dilatação em alvenaria estrutural no máximo a cada 24 m da edificação em planta. Além disso, é necessário que a junta de dilatação seja preenchida com um material deformável, como por exemplo o poliestireno expandido (EPS), e que suas extremidades sejam vedadas com um material impermeável e elástico, como por exemplo, o selante (MOHAMAD, 2015).

2.3.2 Juntas de movimentação

As juntas de movimentação são espaços definidos em projetos para permitir movimentos relativos de partes da estrutura sem prejudicar sua integridade funcional e estrutural

(MOHAMAD, 2015). Segundo Alvarenga (2012), a finalidade das juntas de movimentação é absorver movimentos que possam ocorrer na estrutura, como por exemplo variações de volume dos materiais, variações bruscas de carregamento e variações de altura ou da espessura de paredes.

Thomaz et al. (2009) recomendam a inserção de juntas de controle (movimentação) sempre que houver mudanças na direção ou na espessura das alvenarias e também quando as paredes forem muito longas, a fim de evitar a ocorrência de fissuras e destacamentos provocados por movimentações higrotérmicas dos materiais. Os autores sugerem que não sejam ultrapassados os distanciamentos entre juntas indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Distâncias máximas entre juntas de movimentação em alvenarias de vedação em blocos cerâmicos.

Largura do bloco (cm)	Fachadas/ muros de divisa	
	Sem aberturas de portas ou janelas (cm)	Com aberturas de portas ou janelas (cm)
9	*	*
11,5	500	400
14	700	600
19	1000	800

(*) Não se recomenda o uso de blocos de 9 cm em paredes de fachadas.
 OBS: se as paredes forem dotadas de telas ou armaduras contínuas, em todas as juntas de assentamento, as distâncias acima podem ser acrescidas em 50%.

Fonte: Adaptado de Thomaz et al. (2009).

2.4 Interfaces alvenaria-estrutura de aço

Usualmente, denomina-se interface qualquer elemento ou sistema que proporciona uma ligação física entre dois materiais que não poderiam ser conectados diretamente (SAWAYA, 1999). A definição das ligações entre alvenaria e estrutura de aço deve ser feita com base no grau de vinculação entre esses dois sistemas. Preferencialmente, deve-se optar por ligações desvinculadas, pois elas permitem os deslocamentos independentes da estrutura em relação à alvenaria (ARAÚJO, 2010).

Segundo Araújo (2010), os materiais mais indicados para executar ligações desvinculadas, são os materiais flexíveis, pois eles conseguem acomodar as movimentações da estrutura. Porém, antes de simplesmente inserí-los nas interfaces, é preciso verificar a aderência do material de

ligação do aço com a alvenaria e também como ele se comporta, de forma a conseguir uma ligação eficaz.

2.5 Manifestações patológicas identificadas em juntas e interfaces em alvenaria

De acordo com Araújo (2010), as manifestações patológicas mais importantes que ocorrem em estruturas de aço são provocadas pela entrada de água através de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço. Isto acaba gerando problemas de corrosão, manchas de mofo, destacamento de revestimentos, aparecimento de fissuras, etc. O tratamento inadequado das juntas e interfaces entre sistema de vedação e estrutura ou a não intervenção após o aparecimento desses tipos de problema pode acabar reduzindo a vida útil do edifício. Na Figura 9 são exibidos alguns exemplos de manifestações patológicas em juntas e interfaces utilizadas em edifícios de múltiplos andares em estrutura de aço.

Figura 9 – Exemplos de manifestações patológicas: a) descolamento do silicone de juntas de movimentação horizontal; b) estufamento do revestimento cerâmico aplicado sobre elementos metálicos que promovem desvinculação do fechamento vertical.



(a)

(b)

Fonte: Araújo, 2010.

Araújo (2010) afirma que para o uso adequado de uma estrutura de aço é imprescindível considerar o tratamento do sistema de fechamento como uma parte dos processos que compõem o projeto executivo de edifícios.

Outra manifestação patológica muito comum em juntas de edifícios são as falhas no tratamento com selantes. Na Figura 10 mostram-se duas situações de falhas em juntas tratadas com selantes.

Figura 10 – Exemplos de falhas em juntas: a) ruptura do selante a base de poliuretano em uma junta vertical; b) ruptura do revestimento de argamassa próximo a uma junta horizontal tratada com selante à base de silicone.



(a)



(b)

Fonte: Acervo José Luiz Rangel Paes.

2.6 Tipos de tratamento de impermeabilização de juntas e interfaces

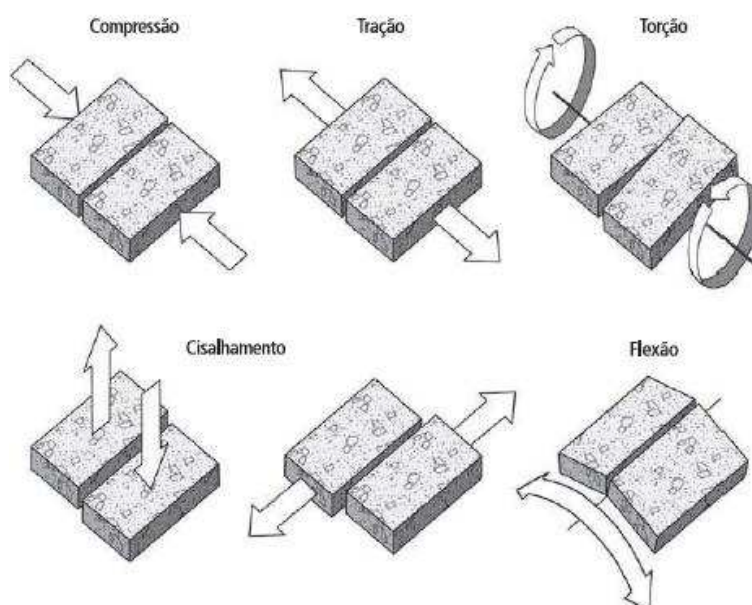
De forma a evitar que ocorra a penetração de água nas juntas da construção, deve ser feita a sua impermeabilização. Dentre os tipos de tratamento de impermeabilização de juntas e interfaces, foram selecionados dois para serem tratados neste trabalho: o tratamento com selantes e o tratamento com manta de elastômero EPDM, emulsão acrílica e tela de poliéster proposto por Santos (2016). Tanto os selantes quanto a manta de elastômero EPDM são materiais flexíveis que permitem a acomodação das movimentações nas juntas e interfaces, que é uma característica essencial para alcançar o desempenho desejado (SANTOS, 2016).

2.6.1 Tratamento com selantes

Segundo Silva (2004), o preenchimento de juntas deve ser feito com materiais que sejam flexíveis e capazes de absorver as deformações do sistema de revestimento. Uma solução que é comumente utilizada é o tratamento com selantes.

As juntas estão sujeitas a movimentações, conseqüentemente, o selante que preenche uma junta está sujeito a diversos tipos de solicitações. Na Figura 11 são apresentados os tipos de solicitações que podem atuar sobre uma junta preenchida com selante.

Figura 11 – Tipos de solicitações que podem atuar sobre um selante.



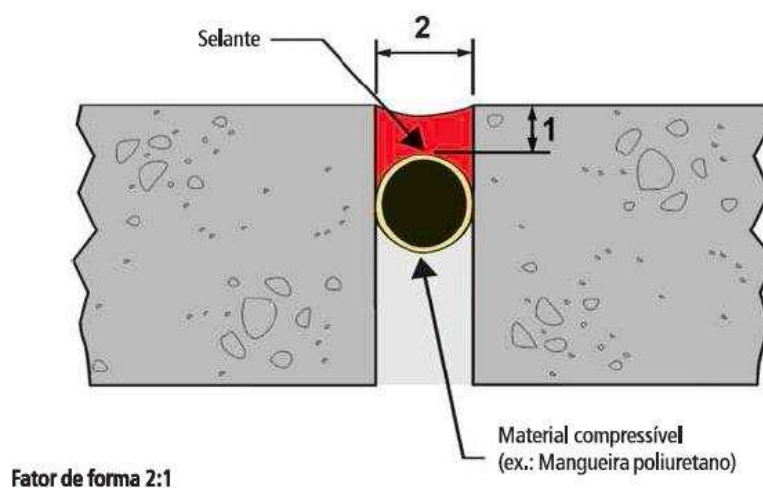
Fonte: Ferme e Oliveira, 2003 apud Beltrame e Loh, 2009.

Beltrame e Loh (2009) apresentam algumas recomendações importantes para que as movimentações que venham ocorrer nas juntas de um sistema de vedação vertical sejam acomodadas pelos selantes:

- é necessário que o selante esteja aderido às faces paralelas da junta durante os movimentos de expansão e contração dos substratos;
- para acompanhar as movimentações das faces laterais do substrato o selante não deve estar unido à face inferior da junta;
- deve-se utilizar de maneira correta o fator de forma do selante, que é a relação entre a largura e a profundidade da seção da junta onde o selante será aplicado.

O fator de forma, que representa a relação entre largura e espessura do selante, varia conforme o comportamento e características do produto (FERME e OLIVEIRA, 2003¹ apud BELTRAME e LOH, 2009). Na Figura 12 apresenta-se uma junta com fator de forma 2:1, considerado adequado para aplicação de um selante em uma junta de um sistema de vedação vertical.

Figura 12 – Junta com fator de forma 2:1.



Fonte: Ferme e Oliveira, 2003 apud Beltrame e Loh, 2009.

Para delimitar a profundidade do selante deve-se utilizar um material de suporte flexível antes de sua aplicação. Para isto pode-se utilizar uma mangueira de poliuretano, uma fita isoladora ou um perfil redondo de polietileno expandido de baixa densidade, comercialmente conhecido como Tarucel® (Figura 13). O selante não deve ter aderência ao delimitador de profundidade, o que lhe permite acompanhar a movimentação das faces laterais da junta.

Figura 13 – Detalhe do posicionamento do delimitador de profundidade tipo Tarucel® em uma junta.



Fonte: Beltrame e Loh, 2009.

¹ FERME, L. F. G; OLIVEIRA, P S. F. **Selantes – a escolha correta garante a durabilidade**. XII Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, 1º a 3 de outubro de 2003. Anais... São Paulo: IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 2003 (CD-ROM).

Segundo Beltrame e Loh (2009), antes da aplicação do selante, deve-se colar uma fita crepe nas bordas da junta para evitar a aderência do selante às mesmas, permitindo, assim, um bom acabamento. Para aplicação do selante, utiliza-se uma pistola com bico cortado em um ângulo de 45°. Após a sua aplicação, deve-se frisar a junta com o auxílio de uma espátula, e após alguns minutos, retirar com cautela as fitas das bordas.

Na Figura 14 pode-se observar uma junta de movimentação de uma fachada, na qual foi utilizado um selante à base de poliuretano.

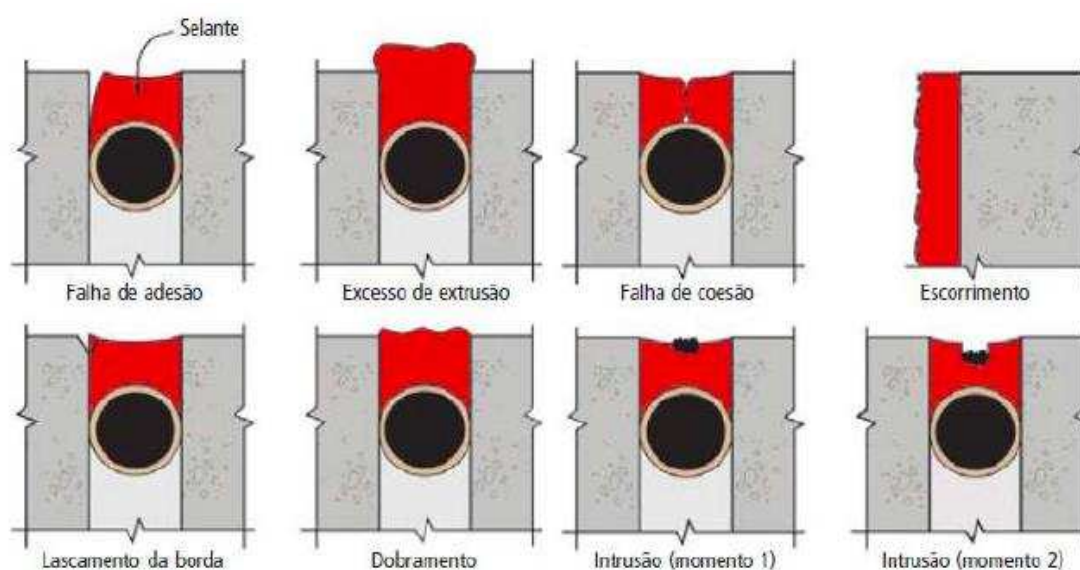
Figura 14 – Junta de movimentação em uma fachada com acabamento em selante acrílico.



Fonte: Santos, 2016.

O selante está sujeito a degradação devido a ação de agentes externos, tais como chuva e radiação solar, sendo necessário fazer a sua substituição com o passar do tempo. Além disso, é comum a ocorrência de falhas em juntas devido à aplicação errônea do selante. Na Figura 15 são apresentados os principais tipos de falhas em juntas com aplicação de selante.

Figura 15 – Principais tipos de falha em juntas de alvenaria com aplicação de selante.



Fonte: Ferme e Oliveira, 2003 apud Beltrame e Loh, 2009.

Ding e Liu (2006a, 2006b) testaram alguns tipos de selante sob efeitos de calor com um equipamento de convecção térmica, à temperatura de 80°C e, separadamente, sob radiação ultravioleta (300W) em uma câmara com lâmpadas com comprimento de onda UVA-340 nm, em que a superfície das amostras foram mantidas a 50°C, ambos com o intuito de testar as amostras sob o efeito do intemperismo em até 5000 h. Notou-se que nos selantes à base de poliuretano sujeitos a mais de 3000 h de exposição ocorreu apenas um amarelamento gradual sob radiação ultravioleta, sem aparecimento de fissuras, enquanto que nas amostras submetidas ao envelhecimento térmico foi perceptível um encolhimento em seu volume. Os autores chegaram à conclusão de que um tempo de intemperismo acelerado razoável para induzir mudanças evidentes nas propriedades do selante é de pelo menos 5000 h.

Ding e Liu (2006a, 2006b) concluíram que diferentes condições de intemperismo têm diferentes influências nas propriedades dos selantes. Ding e Liu (2006a, 2006b) concluíram ainda que a radiação UV acelera mudanças na aparência do selante, enquanto que o calor acelera a degradação de suas propriedades mecânicas.

2.6.2 Tratamento com manta de elastômero EPDM, emulsão acrílica e tela de poliéster proposto por Santos (2016)

A manta de elastômero sintético de etileno-propileno-dieno-monômero (EPDM) apresenta excelentes características de elasticidade, impermeabilidade, com notável desempenho quanto

à durabilidade (VIAPOL, 2016). Santos (2016) afirma que a manta de elastômero EPDM é uma alternativa ao uso dos selantes e que tem mostrado bons resultados no tratamento de juntas e interfaces.

Na Figura 16 mostra-se uma manta de elastômero EPDM cortada em faixas e sendo preparada antes de sua aplicação no local.

Figura 16 – Manta de elastômero EPDM cortada em faixas (a) e sua preparação antes de ser aplicada (b).



(a)

(b)

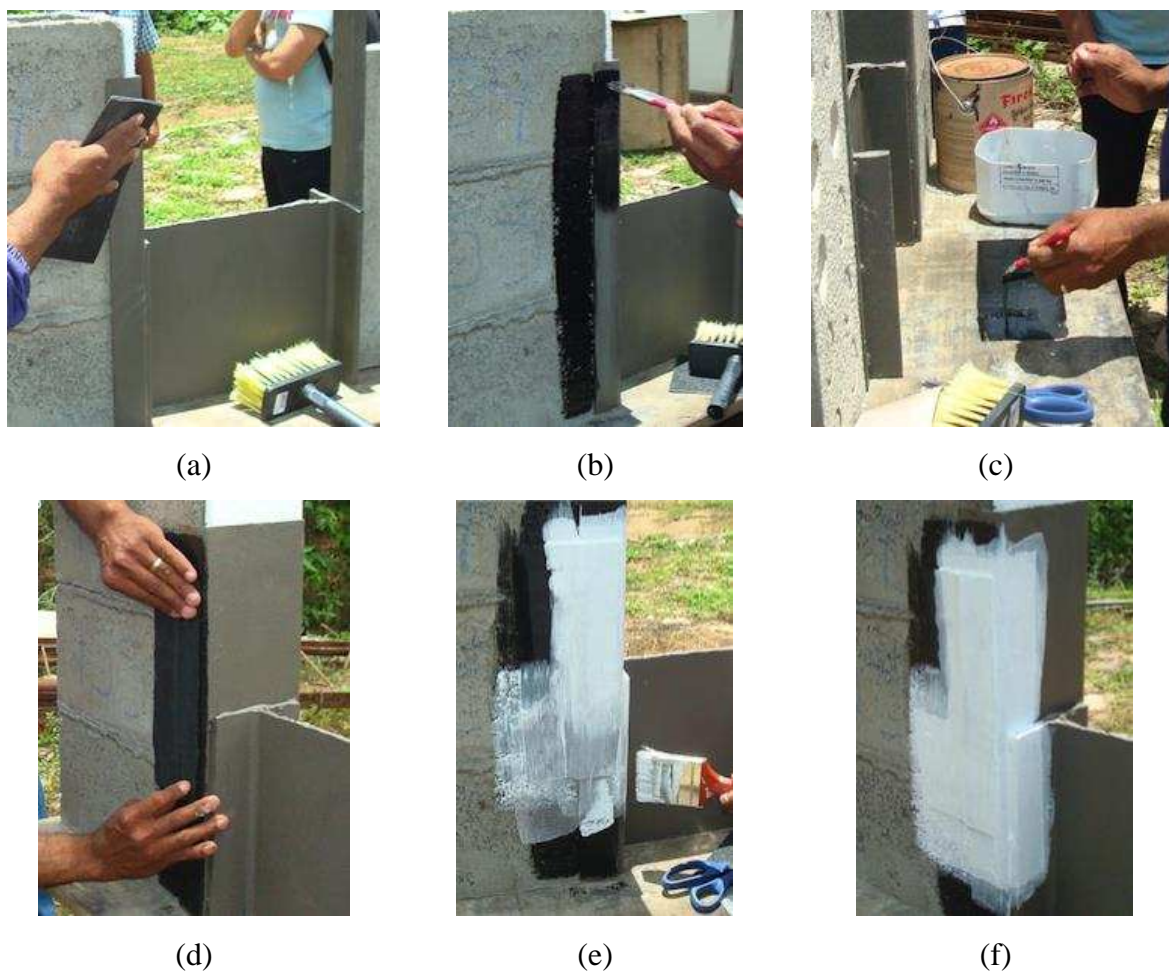
Fonte: Santos, 2016.

Primeiramente deve-se preparar a superfície que será impermeabilizada. Para isto, aplica-se um adesivo no local onde a manta será fixada e também na própria manta. Após fixar a manta, é necessário aplicar uma tela de poliéster junto com uma emulsão acrílica, a fim de proporcionar uma proteção mecânica à interface. Essa proteção mecânica evita, por exemplo, que a manta seja perfurada.

O uso da tela de poliéster em conjunto com a emulsão acrílica já seria capaz de promover a impermeabilização do local. Porém, esses materiais apresentam uma baixa capacidade de deformação. Dessa forma, em locais não sujeitos a movimentação relativa entre as partes, pode-se utilizar apenas a tela de poliéster em conjunto com a emulsão acrílica. Já em locais onde possa ocorrer uma movimentação relativa entre as partes, como por exemplo nas ligações entre aço e alvenaria, deve ser utilizada também a manta de elastômero EPDM (SANTOS, 2016).

Na Figura 17 é apresentado um exemplo de aplicação da manta de elastômero EPDM juntamente com a tela de poliéster e emulsão acrílica.

Figura 17 – Teste piloto de aplicação da manta de elastômero EPDM: a) preparação da superfície a ser tratada; b) aplicação do adesivo na superfície a ser tratada; c) aplicação do adesivo sobre a manta de elastômero EPDM; d) aplicação da manta sobre a interface; e) aplicação da tela de poliéster e emulsão acrílica; f) interface após o término do tratamento de impermeabilização.

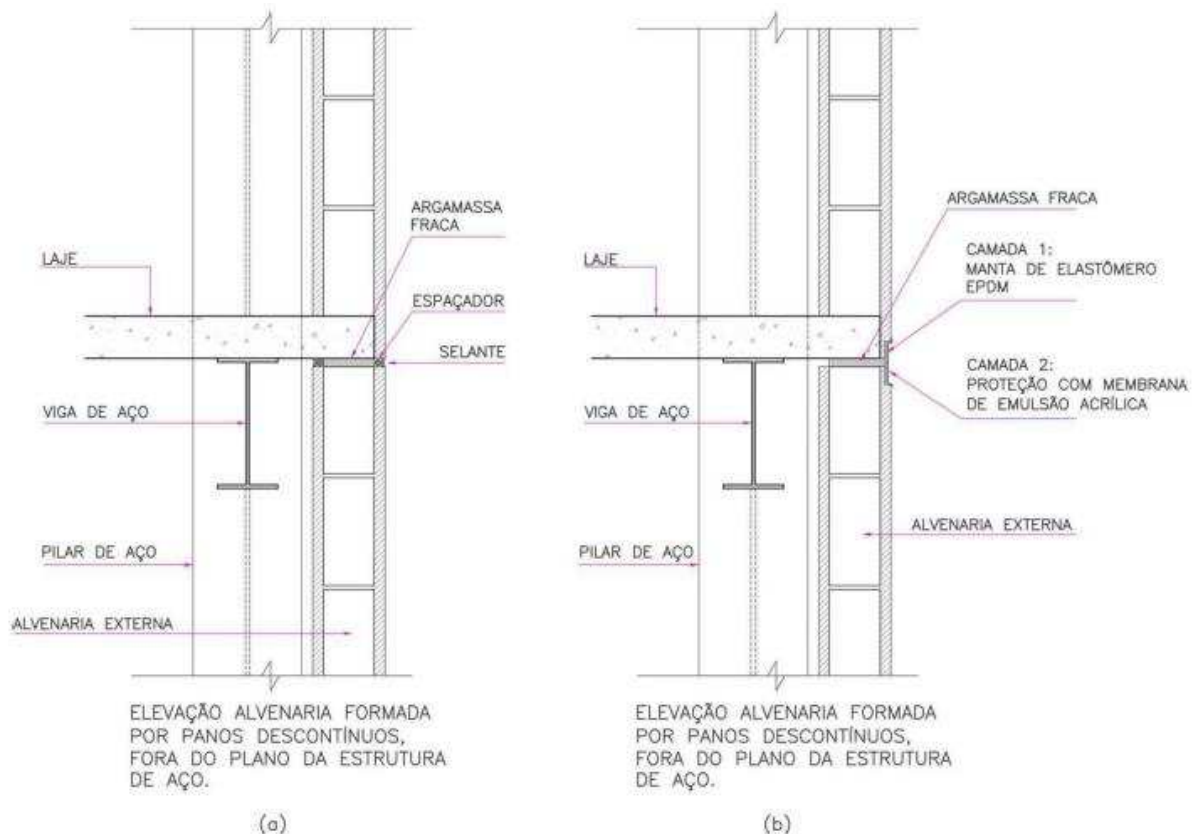


Fonte: Acervo José Luiz Rangel Paes.

Santos (2016) recomenda ainda que nos locais em que não houver movimentação relativa entre as partes, tais como no encontro entre chapas de aço, deve-se fazer o preenchimento dos espaços vazios com massa plástica. Em seguida, deve-se aplicar a tela de poliéster e a emulsão acrílica.

Na Figura 18 é apresentado um detalhe de tratamento de uma junta horizontal em uma alvenaria de vedação externa com aplicação de selante (a) e de manta de elastômero EPDM (b).

Figura 18 – Alvenaria formada por panos descontínuos, fora do plano da estrutura de aço:
a) com a utilização de selante; b) com aplicação da manta de elastômero EPDM.



Fonte: Santos, 2016.

2.7 Procedimentos de ensaio para avaliação do desempenho prescritos pela ABNT NBR 15575-4:2013

2.7.1 Procedimento de ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

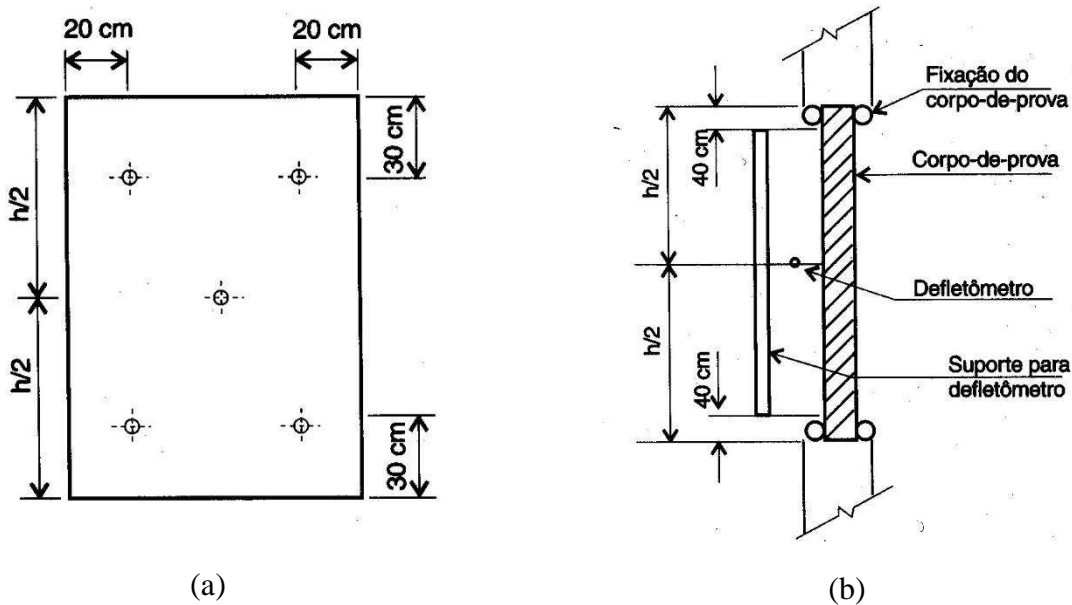
Para sistemas de vedação vertical externo (SVVE), a ABNT 15575-4:2013 estabelece como requisito que devem ser limitados os deslocamentos, fissuras e falhas, incluindo seus revestimentos, em função de ciclos de exposição ao calor e resfriamento que ocorrem durante a vida útil do edifício.

Para realização do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, no Anexo E da ABNT NBR 15575-4:2013 recomenda-se que as paredes externas, incluindo seus revestimentos, sejam submetidas a dez ciclos sucessivos de exposição à ação do calor e resfriamento através de jatos de água, não devendo apresentar:

- a) deslocamento horizontal instantâneo, no plano perpendicular ao corpo de prova, superior a $h/300$, onde h é a altura do corpo de prova;
- b) ocorrência de falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do SVVE.

Conforme consta no Anexo E da ABNT NBR 15575-4:2013, o ensaio deve ser realizado em pelo menos dois corpos de prova com extensão de $(1,20 \pm 0,20)$ m e espessura característica. Os termopares devem ser posicionados na face do corpo de prova, em um total de cinco, conforme Figura 19.a. O corpo de prova deve ser fixado verticalmente (Figura 19.b) e um defletômetro deve ser instalado no ponto central do corpo de prova, na face oposta à incidência da radiação (Figura 19.b).

Figura 19 – Esquema de montagem e instrumentação do corpo de prova segundo a ABNT NBR 15575-4:2013: a) posicionamento dos termopares na superfície do corpo de prova; b) posicionamento do defletômetro.



Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013.

No Anexo E da ABNT NBR 15575-4:2013 prescreve-se também que o painel radiante deve ser posicionado diante do corpo de prova a uma distância que permita manter na face exterior uma temperatura superficial uniforme de (80 ± 3) °C. Após atingir-se essa temperatura superficial, deve-se mantê-la por uma hora. Imediatamente após a extinção da radiação, deve-se resfriar a face exterior do corpo de prova com auxílio de jatos de água aspergidos sobre toda sua superfície, até que se atinja a temperatura superficial de (20 ± 3) °C.

Durante a realização do ensaio e ao seu término devem ser registrados os seguintes aspectos:

- a) a ocorrência de fissuras, trincas, descolamentos ou outras deteriorações em ambas as faces do corpo de prova;
- b) o deslocamento horizontal após 45 min da estabilização da temperatura superficial em $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$, e imediatamente após o resfriamento.

2.7.2 Procedimento de ensaio de estanqueidade

A ABNT 15575-4:2013 estabelece como requisito que, de acordo com a região onde se encontra a edificação, os SVVE devem permanecer estanques à infiltração de água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes e não apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água aderentes na face interna, podendo ocorrer pequenas manchas de umidade, com áreas limitadas.

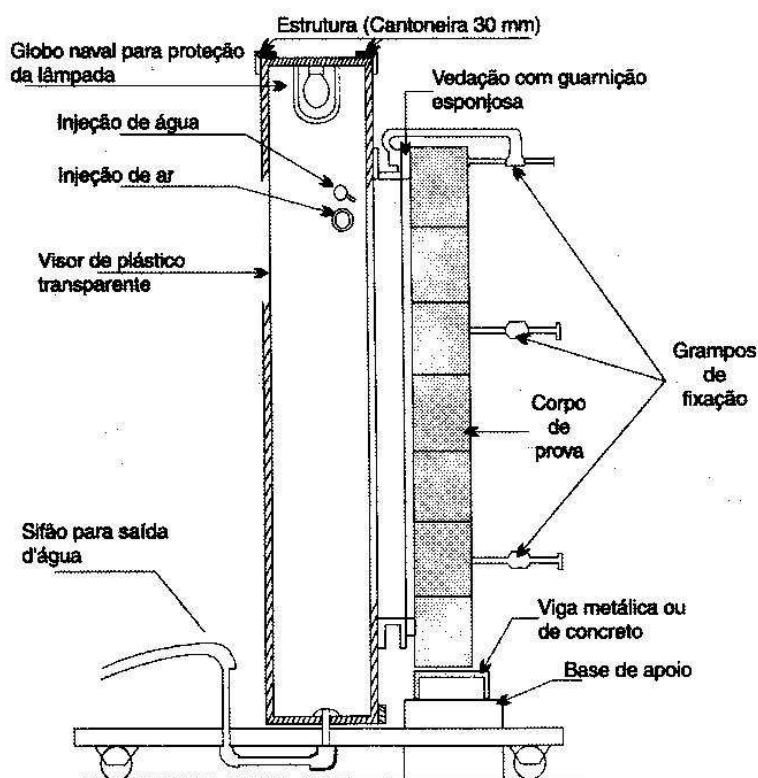
Para avaliação da estanqueidade à água de chuva em SVVE, considerando-se a ação dos ventos, a ABNT NBR 15575-4:2013 recomenda a realização de ensaio em laboratório, de acordo com as prescrições do Anexo C.

O ensaio de estanqueidade consiste na aplicação, por um determinado período de tempo, de uma película homogênea e contínua de água, a uma determinada vazão, sobre a face externa do corpo de prova do SVVE, com uma aplicação simultânea de pressão pneumática sobre essa face.

Conforme consta no Anexo C da ABNT NBR 15575-4:2013, o ensaio deve ser realizado em pelo menos dois corpos de prova de maneira idêntica. O corpo de prova precisa ser plano e verticalmente no prumo. Além disso, deve possuir largura mínima de 105 cm e comprimento mínimo de 135 cm. Com relação à sua espessura, não há restrições. Caso haja pintura, é preciso que a tinta seja aplicada sobre a face externa do corpo de prova e, também, em suas superfícies adjacentes, com exceção de sua face interna, seguindo as recomendações do fabricante. O ensaio só deve ser iniciado após no mínimo sete dias de secagem da pintura.

O esquema de montagem do corpo de prova do ensaio é mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Esquema de montagem do corpo de prova para o ensaio de estanqueidade.



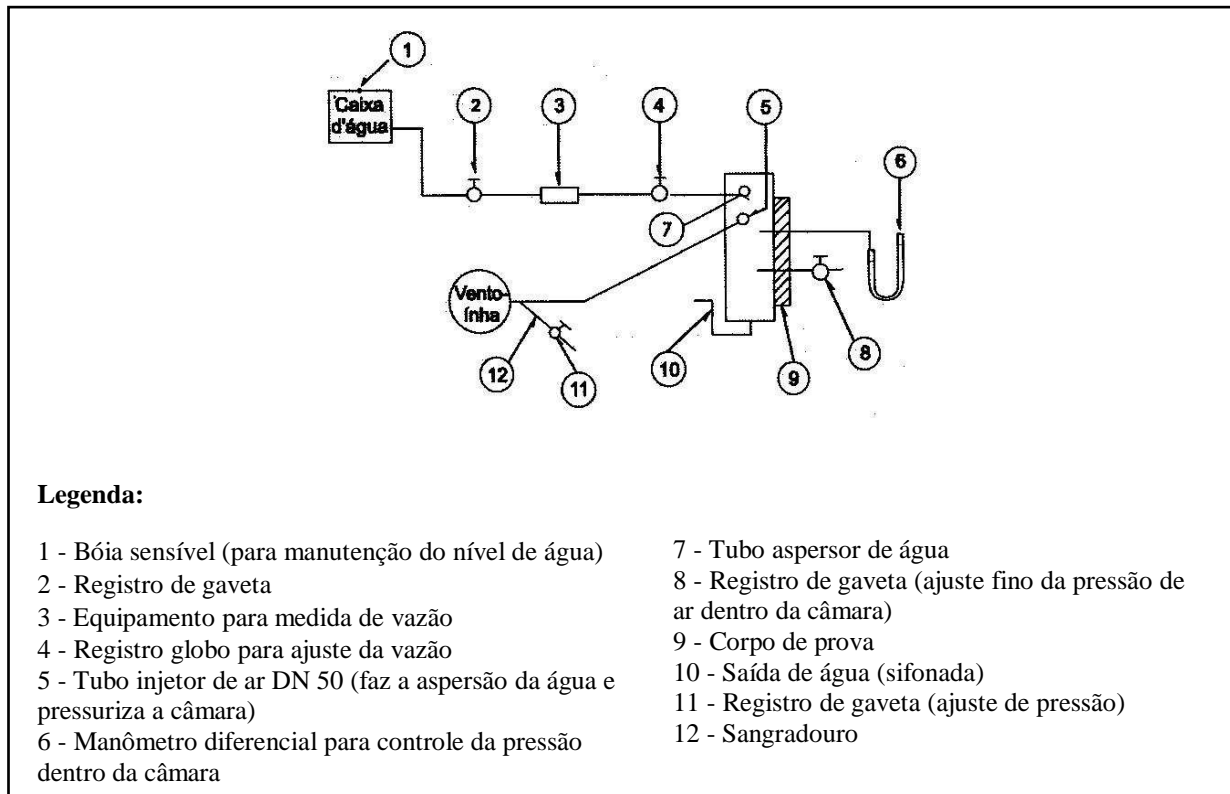
Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013.

De acordo com o Anexo C da ABNT NBR 15575-4:2013, para realizar o ensaio de estanqueidade deve-se adotar ao seguinte procedimento:

- a) o corpo-de-prova deve ser fixado à câmara de ensaio com sua face externa voltada para o interior da câmara. As áreas de contato entre o corpo-de-prova e a câmara devem ser vedadas por meio de guarnição esponjosa, empregando-se, onde necessário, cera de abelha ou similar;
- b) o sistema de dispersão de água deve ser acionado e deve ser estabelecida uma vazão igual a $(3,0 \pm 0,3) \text{ dm}^3/\text{min}$, que deve ser mantida constante durante o ensaio. Em seguida, aplica-se a pressão pneumática especificada, que deve ser mantida constante durante o ensaio;
- c) A duração do ensaio é de 7 h. Após este período, a pressão pneumática deve ser anulada e a dispersão de água, interrompida.

A pressão pneumática uniforme indicada pela ABNT NBR 15575-4:2013 é de até 50 Pa dependendo da região do Brasil em que se encontra. Na Figura 21 mostra-se um esquema geral do ensaio de estanqueidade, com indicação dos dispositivos para aspersão de água e aplicação da pressão pneumática.

Figura 21 – Esquema de dispositivos para medida de vazão.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-4:2013.

2.8 Ensaio para avaliação do desempenho realizados por outros autores

Este item tem como objetivo apresentar alguns exemplos de procedimentos de ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e de estanqueidade utilizados por alguns autores, assim como, apresentar as principais características dos equipamentos utilizados.

2.8.1 Trabalho realizado por Varisco (2014)

Varisco (2014) realizou ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e de estanqueidade com o intuito de avaliar o comportamento de um SVVE formado por blocos de concreto celular autoclavado exposto à ação do calor e choque térmico e, posteriormente, avaliar o desempenho quanto à estanqueidade à água da chuva. Os ensaios foram executados em dois modelos de parede com dimensões de 180 cm x 270 cm x 12 cm, com revestimento na face externa. Os modelos de parede tinham as quatro bordas restritas por um pórtico de aço, porém com liberdade para se deformar em qualquer direção do plano (Figura 22).

Figura 22 – Modelos experimentais de parede utilizados por Varisco (2014).



Fonte: Varisco, 2014.

O ensaio de estanqueidade à água foi realizado antes e depois do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Para este ensaio foi utilizada uma câmara simuladora de chuva incidente (Figura 23), desenvolvida pela ITA-LATEC, que foi vedada utilizando uma guarnição esponjosa e silicone.

Figura 23 – Aspecto geral da câmara de estanqueidade desenvolvida pela ITA-LATEC, utilizada nos ensaios de estanqueidade de Varisco (2014).



Fonte: Varisco, 2014.

Para o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, foi utilizado um painel radiante composto por 60 lâmpadas incandescentes de 100 W, com altura de 240 cm e largura de

120 cm. Já para o resfriamento, fez-se uso de um circuito de tubos em PVC de 20 mm de diâmetro, constituído de 16 aspersores uniformemente distribuídos. O circuito tinha formato de malha retangular e conseguia abranger uma área igual à do painel radiante. O equipamento utilizado é mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Aspectos gerais do painel radiante utilizado no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico: a) disposição das lâmpadas incandescentes painel radiante; b) posicionamento do painel radiante para realização do ensaio; c) dispositivo de resfriamento.

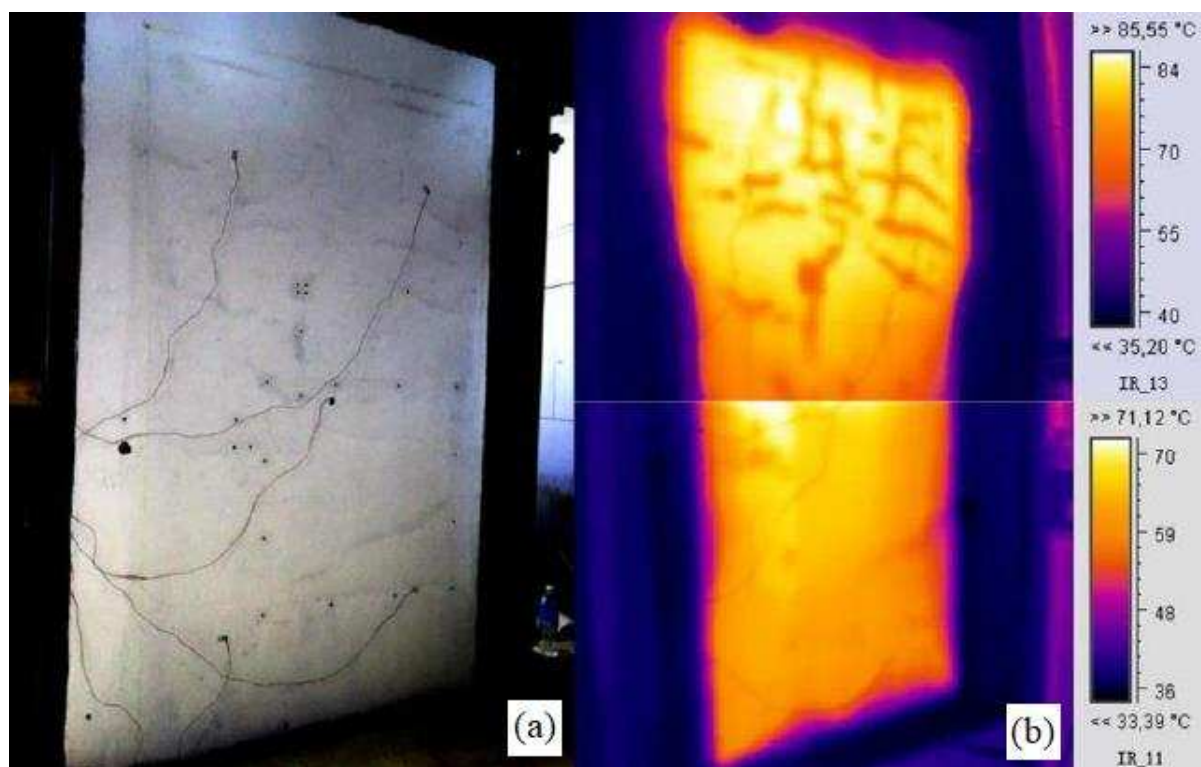


Fonte: Varisco, 2014.

Para o monitoramento da temperatura foram utilizados cinco termômetros com seus respectivos cabos e termopares. Os termopares foram posicionados de acordo com as recomendações da ABNT NBR 15575-4:2013. Para medição do deslocamento horizontal instantâneo foi utilizado um transdutor de deslocamento tipo digital, instalado de forma independente, atuando na face oposta à incidência de radiação.

A avaliação da ocorrência de falhas foi feita por meio de inspeção visual após o término de cada ciclo. Fez-se uso de fotografias de detecção de radiação infravermelha para melhor avaliar os corpos de prova. Na Figura 25 é possível observar as fissuras em um modelo experimental, que apresentaram coloração mais escura devido à penetração de água.

Figura 25 – Aspecto geral do modelo experimental após o término de um ciclo do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico: a) imagem comum após o resfriamento; b) termografia antes do resfriamento.



Fonte: Varisco, 2014.

2.8.2 Trabalho realizado por Moraes (2015)

Moraes (2015) realizou ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico no Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais (LEME) da UFRGS. Seu objetivo era verificar o comportamento de um SVVE de Concreto/PVC quando submetido a ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento segundo as prescrições da ABNT NBR 15575-4:2013. Para isso, utilizou-se um painel radiante de dimensões 110 cm x 220 cm (Figura 26) projetado e executado pela equipe técnica do LEME. O detalhamento do painel não foi explicitado no trabalho, devido a um processo de patenteamento que estava em andamento.

Figura 26 – Aspecto geral do painel radiante utilizado por Moraes (2015):
a) vista posterior externa; b) vista lateral externa.



(a)

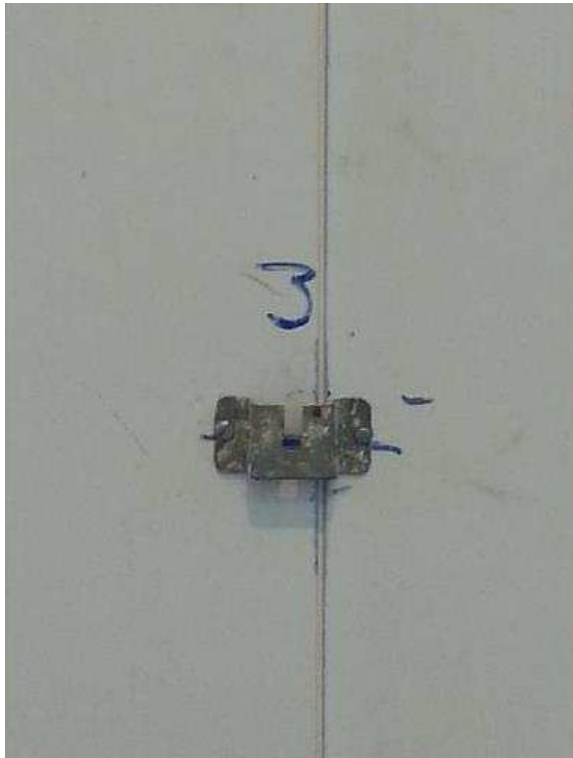
(b)

Fonte: Moraes, 2015.

Com auxílio do painel radiante realizou-se o aquecimento e o resfriamento sem necessidade de afastá-lo do modelo de parede. Ou seja, o painel radiante foi utilizado para fornecer calor, de maneira que a face aquecida atingisse a temperatura uniforme desejada, e também continha dispositivos que permitiam aspergir água sobre o corpo de prova, até que a face ensaiada atingisse a temperatura de $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Para este resfriamento, foi utilizado um reservatório de polietileno, com capacidade de 1000 litros, interligado aos aspersores do painel radiante por meio de uma tubulação. Esse reservatório era continuamente alimentado durante o ensaio.

Os modelos de parede ensaiados possuíam dimensões de 120 cm x 240 cm x 7 cm. Neles foram instalados suportes para os termopares com auxílio de parafusos. Moraes (2015) utilizou os cinco termopares conforme recomendado pela ABNT NBR 15575-4:2013, o que pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 – Posicionamento dos termopares nos modelos experimentais:
a) suporte utilizado; b) posicionamento dos termopares.



(a)

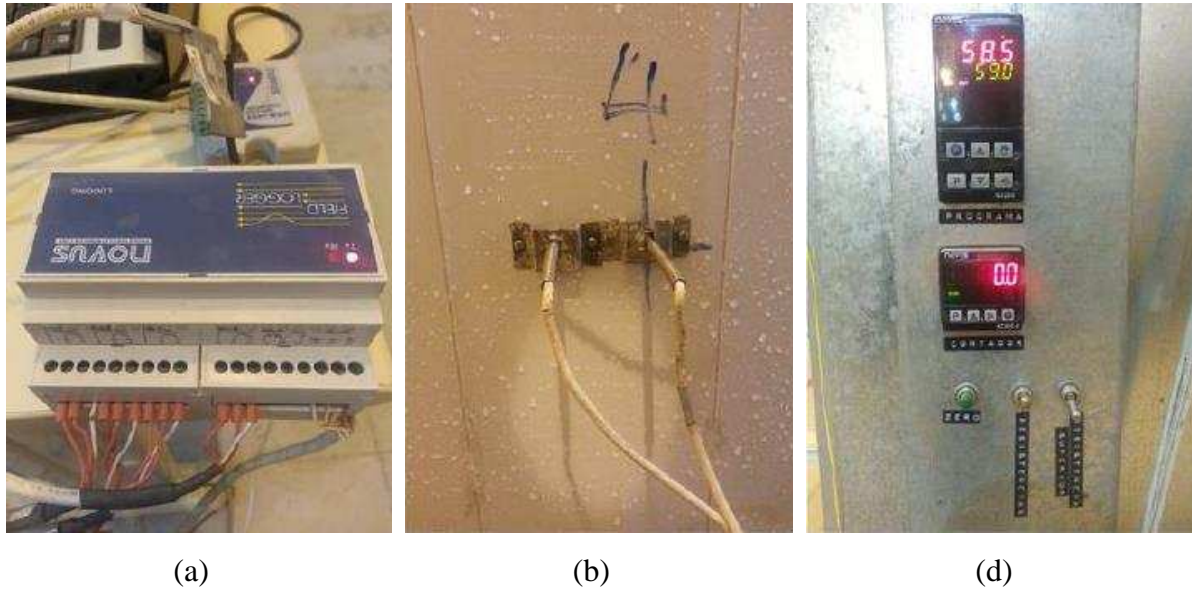


(b)

Fonte: Moraes, 2015.

O monitoramento da temperatura dos cinco termopares era acompanhado em um computador conectado a um field logger, que é um dispositivo que armazena leituras de instrumentos de medição (Figura 28.a). O controle de temperatura pelo painel radiante foi realizado por meio de um termopar adicional (Figura 28.b), que foi acoplado a um controlador instalado no painel radiante (Figura 28.c), sendo feita toda a programação necessária neste dispositivo para que ao atingir a temperatura desejada, ela se estabilizasse.

Figura 28 – Dispositivos acoplados ao painel radiante: a) field logger; b) termopar adicional ao lado do termopar 4; c) controlador.



Fonte: Moraes, 2015.

Para monitorar os deslocamentos horizontais, foi instalado um defletômetro no ponto central do corpo de prova, na face oposta à incidência de calor. Para auxiliar o controle da fuga do calor foram posicionadas placas móveis de borracha sobre pequenas aberturas nas laterais e no topo do painel (Figura 29), que eram abertas ou fechadas conforme necessário. A função das placas era ajudar a manter a temperatura uniforme em toda superfície do modelo de parede, já que, além do controlador de temperatura, também foi preciso utilizar um controle manual.

Figura 29 – Placas móveis posicionadas sobre pequenas aberturas no painel radiante.



Fonte: Moraes, 2015.

Para facilitar a execução do ensaio, uma tubulação foi conectada ao painel, de forma a transportar a água proveniente do resfriamento à rede de esgoto do laboratório. Abaixo do painel radiante também foi posicionada uma bandeja para coletar água, que funcionava como uma saída alternativa. As saídas da água de resfriamento são mostradas na Figura 30.

Figura 30 – Saídas da água de resfriamento junto ao painel radiante.



Fonte: Moraes, 2015.

No ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico realizado por Moraes (2015), a avaliação dos eventuais danos provocados no modelo experimental foi realizada somente após a conclusão dos dez ciclos de aquecimento e resfriamento, pois era de difícil movimentar o painel depois de instalado.

2.8.3 Trabalho realizado por Magalhães (2016)

Com o objetivo de avaliar o desempenho de um sistema estrutural de paredes de concreto com ar incorporado, tendo como base principal a ABNT NBR 15575:2013, Magalhães (2016) realizou ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico utilizando como fonte de aquecimento um forno modular (Figura 31) desenvolvido no Laboratório de Estruturas e Materiais da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (FECIV-UFU).

Figura 31 – Aspectos gerais do forno modular desenvolvido no FECIV-UFU: a) vista do interior do forno com resistências tubulares aletadas; b) vista do exterior do forno na posição de ensaio.

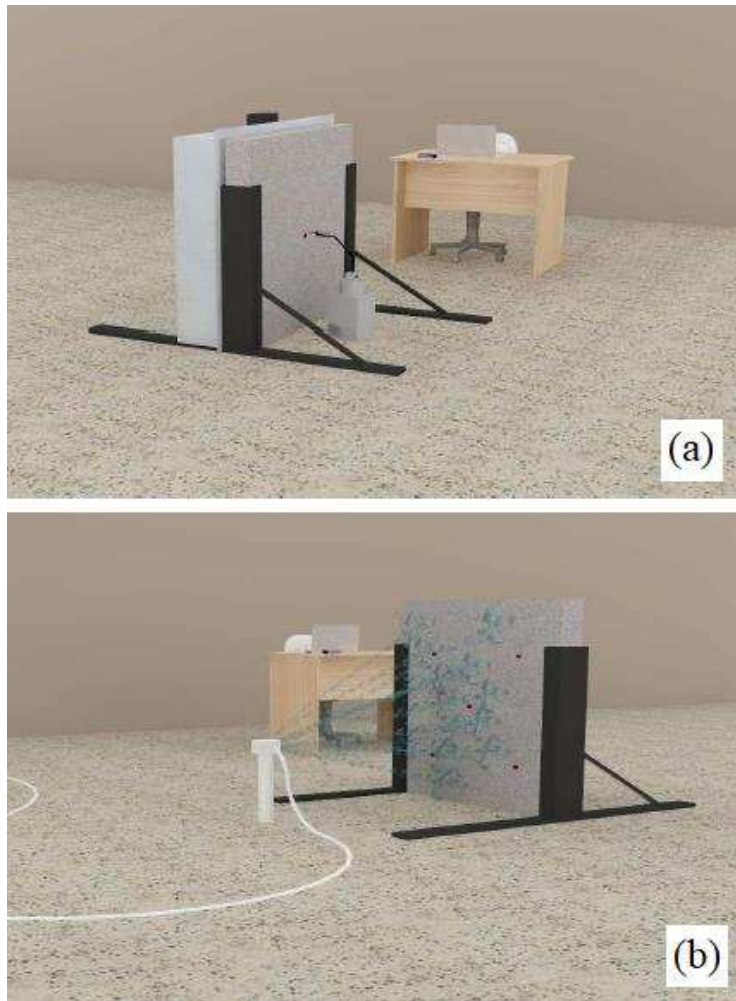


Fonte: Magalhães, 2016.

Magalhães (2016) construiu o forno com chapas de aço inox com espessura de 2 mm, de forma que uma lã de rocha fosse entreposta entre as chapas para auxiliar no isolamento. Este equipamento foi constituído em quatro módulos, sendo cada módulo um quadrante do forno constituído por duas resistências tubulares aletadas como fonte de aquecimento. O tubo e as aletas das resistências tubulares foram fabricados em aço SAE 1020, com tubo de diâmetro 11,2 mm e comprimento de 400 mm. A potência de cada resistência era de 630 W para uma tensão de 220 V, chegando a atingir a temperatura máxima de 200°C.

Para realização dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico, Magalhães (2016) moldou nove painéis de concreto nas dimensões de 110 cm x 110 cm x 10 cm. Na Figura 32 pode-se observar um exemplo de painel construído e o esquema adotado para os ensaios.

Figura 32 – Esquemas para o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico:
a) painel posicionado para realização do ensaio; b) resfriamento do painel.



Fonte: Magalhães, 2016.

Para medir os deslocamentos horizontais foi instalado um medidor de deslocamento de haste no ponto central da face oposta à incidência de radiação. Para monitoração térmica, Magalhães (2016) utilizou 6 termômetros com seus respectivos cabos e termopares, sendo que 5 deles foram posicionados na superfície submetida à ação do calor e um no centro da superfície oposta.

Para resfriamento dos painéis, Magalhães (2016) utilizou um aspersor conectado a uma mangueira de 20 mm de diâmetro, que proporcionava um jato uniforme, que abrangia toda a área do painel (Figura 33).

Figura 33 – Sistema de resfriamento dos painéis de concreto.

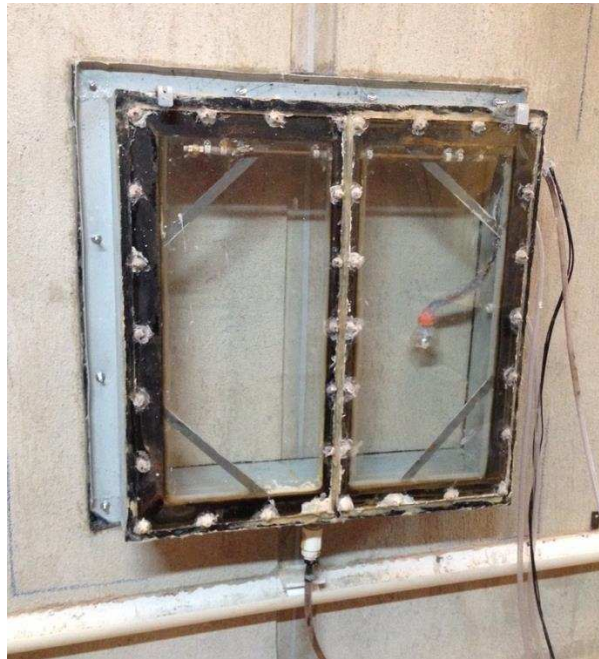


Fonte: Magalhães, 2016.

2.8.4 Trabalho realizado por Sathler (2018)

Sathler (2018) desenvolveu uma câmara de estanqueidade no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) (Figura 34). A câmara foi utilizada para avaliar o desempenho quanto à estanqueidade de SVVE compostos por blocos cerâmicos e revestidas com argamassas de características distintas. O objetivo principal de Sathler (2018) era definir um conjunto de argamassas de revestimento externo e avaliar criticamente a penetração de água em modelos de parede.

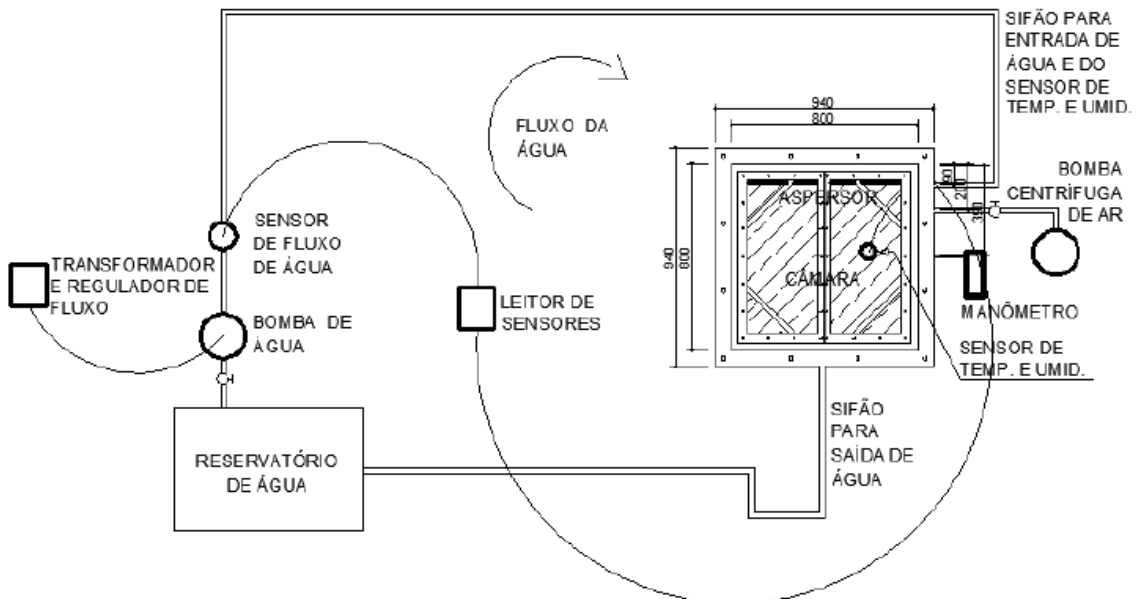
Figura 34 – Aspecto geral da câmara de estanqueidade desenvolvida por Sathler (2018) no LMC do DEC/UFV.



Fonte: A autora, 2019.

A câmara desenvolvida no LMC do DEC/UFV possuía profundidade de 20 cm, área de ensaio de 67 cm x 80 cm, com bordas de apoio de 5 cm de largura na face superior e laterais e 10 cm de largura da face inferior. Na Figura 35 é apresentado um esquema do equipamento utilizado e seus componentes.

Figura 35 – Esquema da câmara de estanqueidade desenvolvida no LMC do DEC/UFV.



Fonte: Sathler, 2018.

3

Materiais e Métodos

3.1 Considerações preliminares

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, abrangendo o desenvolvimento e construção de um painel radiante, a concepção e construção do modelo experimental de parede e a definição e execução dos tratamentos de impermeabilização utilizados nas juntas. São descritos também os procedimentos de execução dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e dos ensaios de estanqueidade realizados no modelo experimental.

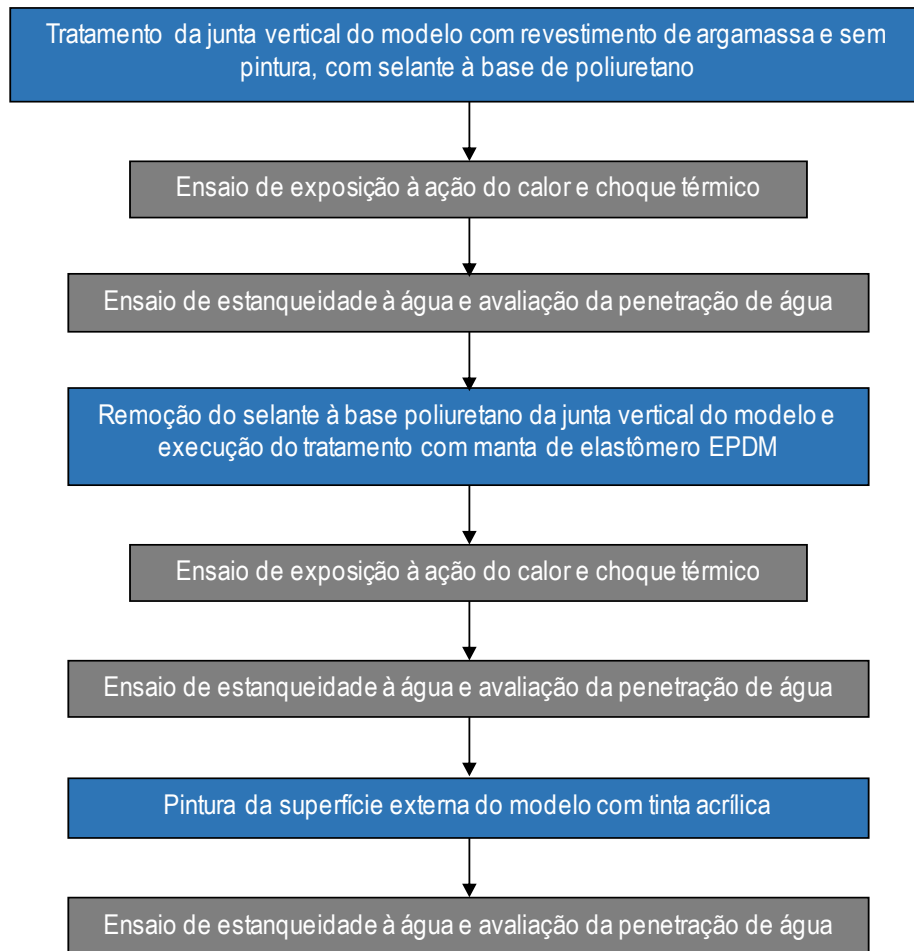
O trabalho foi realizado nas seguintes etapas:

1. desenvolvimento e construção de um painel radiante para ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, de acordo com recomendações da ABNT NBR 15575-4:2013;
2. concepção e construção do modelo experimental de parede com junta vertical, típica de sistemas de vedação vertical externa em alvenaria para estruturas de aço. A junta vertical do modelo foi inicialmente tratada com selante à base de poliuretano;
3. execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico no modelo experimental de parede com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com selante à base de poliuretano;

4. avaliação da degradação da junta vertical do modelo de parede após cada ciclo de aquecimento e resfriamento;
5. execução do ensaio de estanqueidade à água e avaliação da penetração de água no modelo de parede com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com selante à base de poliuretano;
6. remoção do selante à base de poliuretano e do delimitador de profundidade da junta vertical do modelo de parede e execução do tratamento com manta de elastômero EPDM;
7. execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico no modelo experimental de parede com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM;
8. avaliação da degradação da junta vertical do modelo de parede após cada ciclo de aquecimento e resfriamento;
9. execução do ensaio de estanqueidade à água e avaliação da penetração de água no modelo de parede com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM;
10. pintura da superfície externa do modelo de parede com juntas verticais tratadas com manta de elastômero EPDM, com tinta acrílica;
11. execução do ensaio de estanqueidade à água e avaliação da penetração de água no modelo de parede com revestimento de argamassa e superfície externa pintada com tinta acrílica, com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM.

Na Figura 36 apresenta-se um fluxograma com a sequência de ensaios realizados no modelo experimental de parede. Foram construídos dois exemplares do modelo experimental com as mesmas características geométricas e de material e foram realizados cinco ensaios em cada exemplar, num total de dez ensaios.

Figura 36 – Fluxograma de ensaios realizados em cada exemplar do modelo experimental de parede.



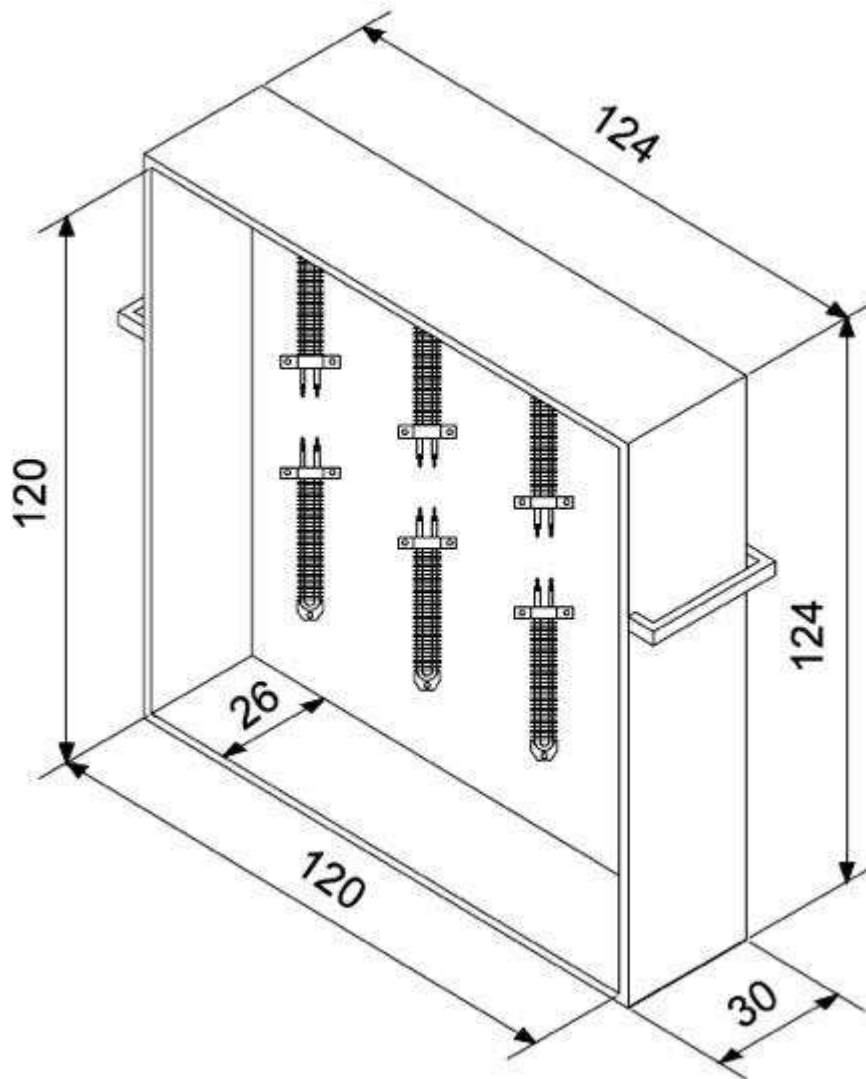
Fonte: A autora, 2019.

3.2 Desenvolvimento e construção de um painel radiante

3.2.1 Características do painel radiante

A fim de permitir a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, foi desenvolvido um painel radiante com dimensões internas de 120 cm x 120 cm x 26 cm e dimensões externas de 124 cm x 124 cm x 30 cm. As paredes do painel possuem uma espessura de 2,0 cm. Na Figura 37 apresenta-se uma perspectiva do painel com suas dimensões internas e externas. O painel foi desenvolvido no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (DEC/UFV).

Figura 37 – Perspectiva do painel radiante (dimensões internas e externas em centímetros).



Fonte: A autora, 2019.

Neste painel optou-se por utilizar oito resistências elétricas tubulares aletadas como fonte de aquecimento, visto que os painéis aquecidos com lâmpadas incandescentes podem apresentar uma frequente queima de lâmpadas, o que poderia gerar interrupções indesejáveis nos ensaios.

3.2.2 Construção do painel radiante

Para construção do painel radiante utilizou-se uma estrutura com perfis tubulares retangulares de aço (tipo metalon), a qual foi revestida externamente com chapas de aço galvanizado e internamente por chapas de aço inoxidável. Todos esses materiais foram reaproveitados a partir de materiais descartados pela Universidade. Entre essas duas chapas foi disposta uma camada de lã de vidro, de forma a evitar a perda de calor e o aquecimento externo do painel. O painel

possui alças em suas laterais para facilitar sua movimentação. Na Figura 38 e na Figura 39 são mostrados alguns aspectos da construção do painel radiante.

Figura 38 – Aspectos da construção do painel radiante: a) estrutura com perfis retangulares tubulares; b) revestimento externo com chapas de aço galvanizado; c) preenchimento das paredes externas com lã de vidro; d) revestimento das paredes internas com chapas de aço inoxidável.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: A autora, 2019.

Figura 39 – Aspectos gerais do painel radiante: a) vista frontal do painel; b) vista posterior do painel; c) vista do interior do painel com as resistências elétricas instaladas.



(a)



(b)

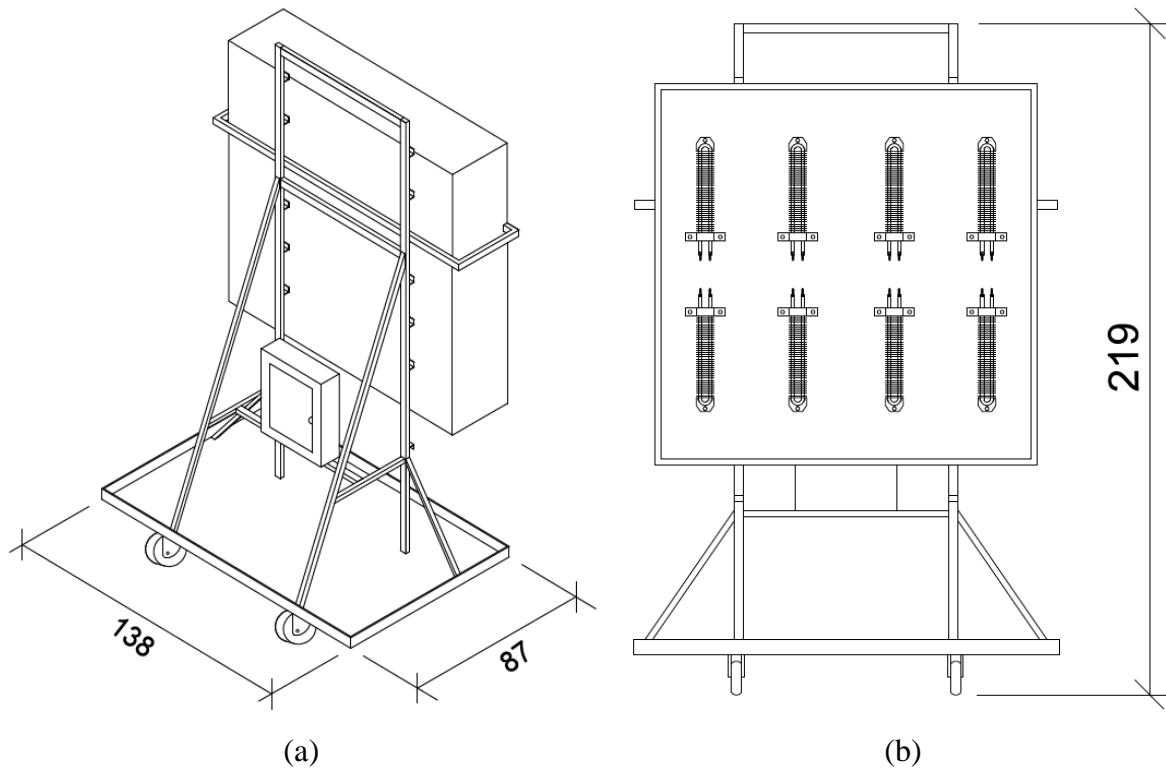


(c)

Fonte: A autora, 2019.

A fim de permitir que o painel radiante possa ser movimentado tanto na vertical, quanto na horizontal, permitindo posicioná-lo defronte ao modelo experimental foi utilizada uma estrutura de suporte com ganchos em diferentes níveis, como pode ser visto na Figura 40.

Figura 40 – Estrutura de suporte do painel radiante: a) vista em perspectiva; b) vista frontal (dimensões em centímetros).



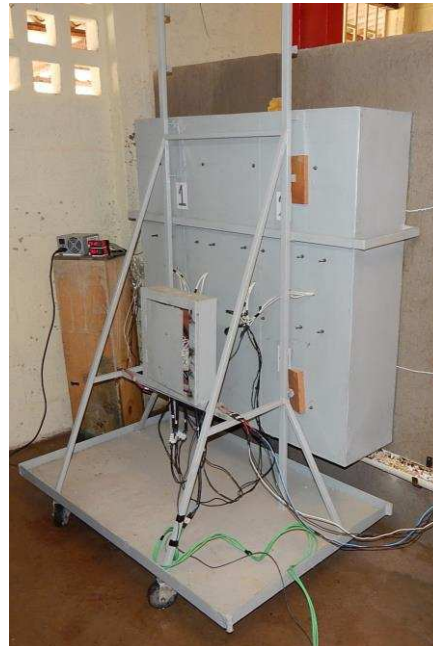
Fonte: A autora, 2019.

A estrutura de suporte do painel radiante possui 219 cm de altura, 138 cm de largura e 87 cm de profundidade (Figura 40) e foi confeccionada com perfis tubulares retangulares de aço (tipo metalon) de 30 x 20 mm e 20 x 20 mm. Para que seja possível ajustar a altura do painel radiante de acordo com a altura do modelo, foram soldados seis ganchos aos tubos, distribuídos a cada 20 cm. A alça instalada no fundo do painel se encaixa nos ganchos da estrutura de suporte. Na Figura 41 mostra-se a estrutura de suporte e o painel radiante posicionado sobre a mesma.

Figura 41 – Aspectos gerais do painel radiante concluído: a) estrutura de suporte; b) painel radiante posicionado sobre a estrutura de suporte.



(a)



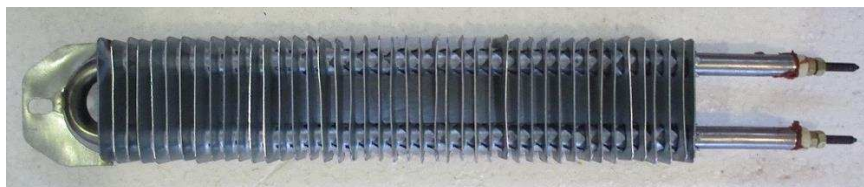
(b)

Fonte: A autora, 2019.

Como também pode ser observado na Figura 41, fixou-se um quadro de distribuição de circuitos na estrutura de suporte do painel radiante para instalação de disjuntores e contatores. Além disso, a base do suporte possui quatro rodas para permitir o seu deslocamento horizontal.

Como fonte de aquecimento, foram utilizadas oito resistências elétricas tubulares aletadas (Figura 42), fixadas no interior do painel, conforme pode ser visto na Figura 39.c. Cada resistência elétrica possui comprimento nominal de 400 mm, tubo de aço inoxidável com diâmetro de 11,2 mm, aletas galvanizadas e potência de 650W, ligada a uma tensão de 220V.

Figura 42 – Resistência elétrica tubular aletada.



Fonte: A autora, 2019.

A fim de permitir um melhor controle da temperatura na superfície do modelo, foram estabelecidos quatro grupos de aquecimento, sendo cada um deles formado por duas resistências elétricas. As duas resistências de cada grupo foram conectadas a um contator. A

partir de uma vista posterior do painel (Figura 43), pode-se observar que as resistências superiores à esquerda formaram o Grupo 1. A mesma lógica foi utilizada para as resistências dos Grupos 2, 3 e 4.

Figura 43 – Vista posterior do painel com identificação dos grupos de aquecimento.



Fonte: A autora, 2019.

A ABNT NBR 15575-4:2013 requer que o painel radiante seja capaz de fornecer calor em quantidade tal que a face externa da parede atinja uma temperatura igual a $(80 \pm 3)^{\circ}\text{C}$. Para permitir o controle automático da temperatura na face externa da parede, sem a necessidade de afastar e aproximar o painel da parede, foram utilizados quatro controladores de temperatura (Figura 44) cada um conectado a um termopar fixado na superfície externa do modelo experimental. Esses controladores permitem o monitoramento contínuo da temperatura da superfície da parede durante todo o período de ensaio.

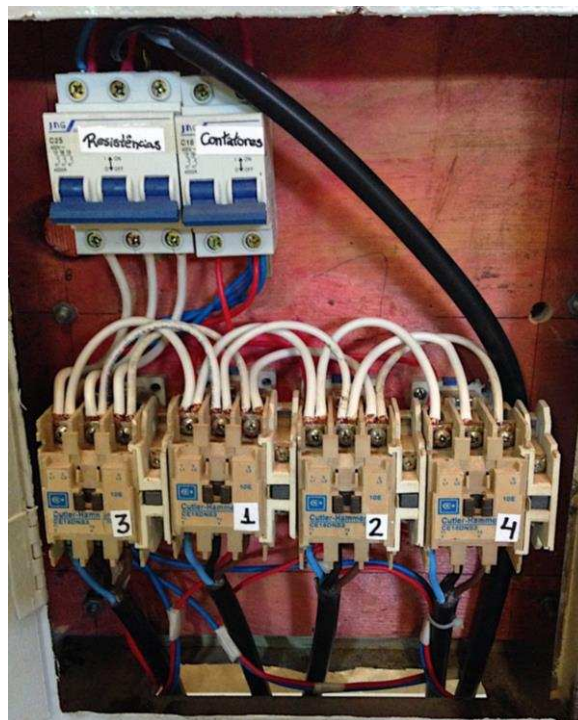
Figura 44 – Controladores de temperatura utilizados nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: A autora, 2019.

Cada controlador de temperatura foi conectado a um contator, conforme pode ser visto no quadro de distribuição de circuitos (Figura 45).

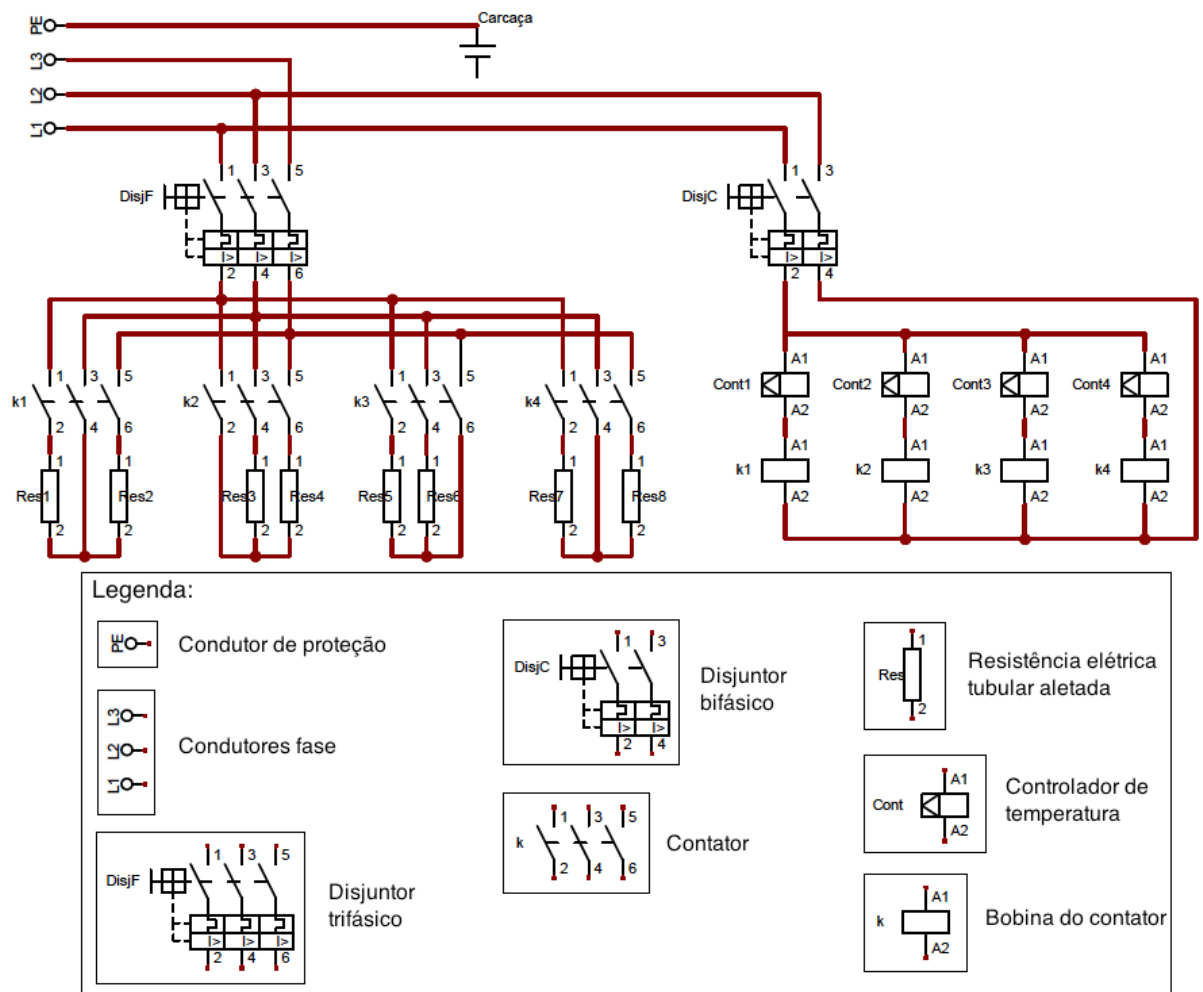
Figura 45 – Quadro de distribuição de circuitos, com identificação dos contatores e disjuntores.



Fonte: A autora, 2019.

Ao se atingir a temperatura máxima programada nos controladores, os contatores desarmam, desligando as resistências a eles conectadas. Quando se atinge a temperatura mínima programada, os contatores rearmam e voltam a ligar as resistências elétricas. O contatores foram necessários, pois os controladores de temperatura não suportam o acionamento de cargas elevadas como as resistências. Na Figura 46 mostra-se o esquema do circuito elétrico criado.

Figura 46 – Esquema do circuito elétrico criado.



Fonte: A autora, 2019.

3.3 Modelo experimental

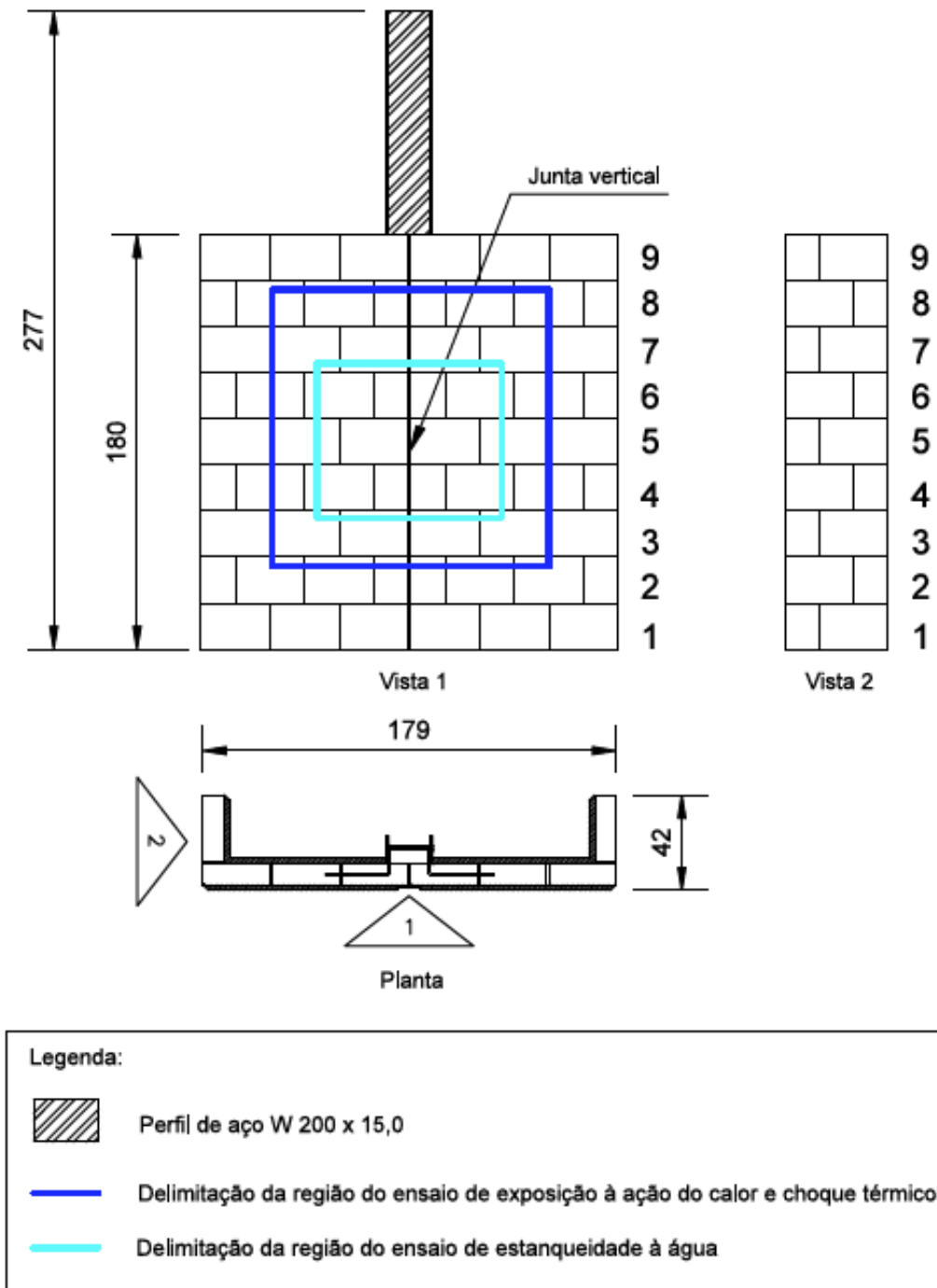
3.3.1 Características do modelo experimental

Para que fosse possível avaliar o desempenho quanto à estanqueidade de juntas típicas de SVVE em alvenaria para estruturas de aço sujeitas a envelhecimento acelerado, decidiu-se construir um modelo experimental de parede com junta de movimentação vertical, típico de sistemas de vedação vertical externa em alvenaria para estruturas de aço.

A parede é conectada a um pilar de aço de seção I engastado na base, por meio de grampos de aço soldados às mesas, a cada 40 cm ao longo da altura, embutidos na alvenaria. O modelo representa um sistema com alvenaria desvinculada, fora do plano da estrutura. O bordo inferior do modelo está apoiado sobre um piso de concreto e o bordo superior é livre. O modelo

experimental apresenta 179 cm de largura, por 180 cm de altura, com área total de 3,22 m². Na Figura 47 mostra-se o modelo experimental com a indicação da região sobre a qual foi realizado o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico (em linhas azul escuro) e a região do ensaio de estanqueidade à água (em linhas azul claro).

Figura 47 – Esquema do modelo experimental (dimensões em centímetros).



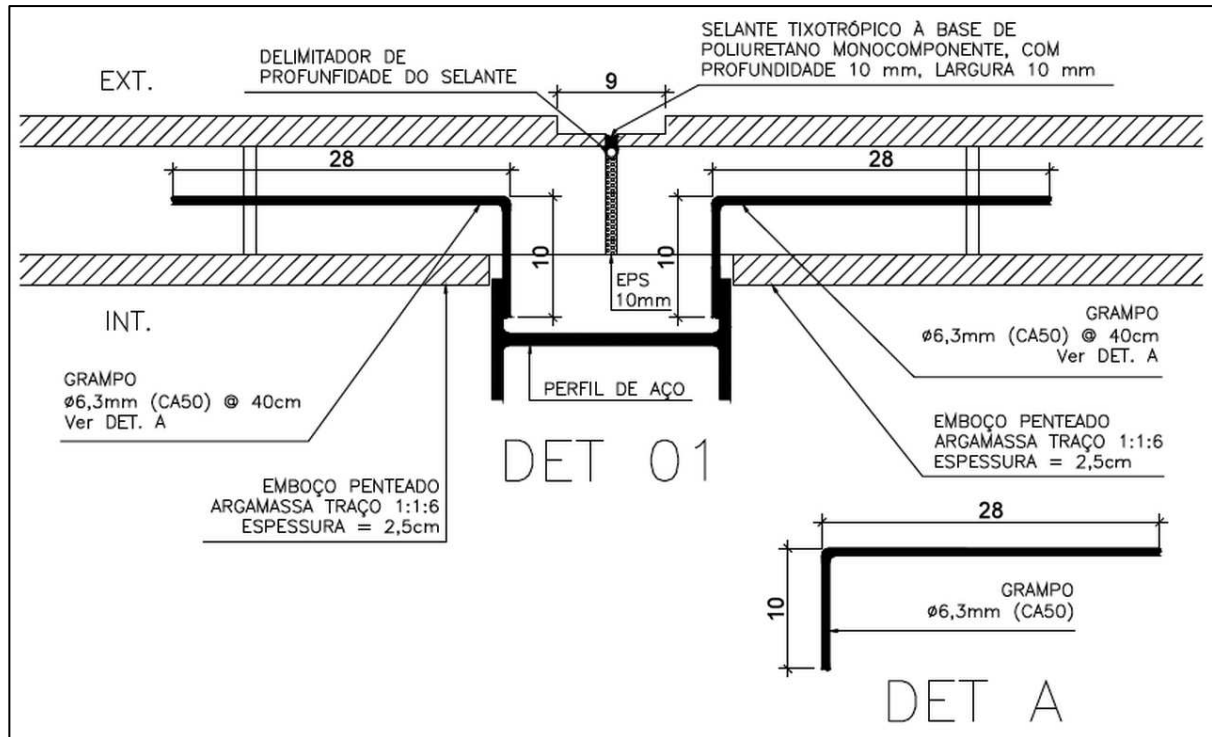
Fonte: A autora, 2019.

Segundo a ABNT NBR 15575-4:2013, tanto o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico quanto o ensaio de estanqueidade à água devem ser realizados em pelo menos dois corpos de prova preparados de maneira idêntica. Em função disso, decidiu-se construir dois exemplares do modelo experimental de parede com junta de movimentação vertical, com as mesmas características geométricas e de material, denominados PAR-JV-R1 e PAR-JV-R2. A junta vertical dos exemplares foi inicialmente tratada com selante à base de poliuretano e posteriormente com manta de elastômero EPDM.

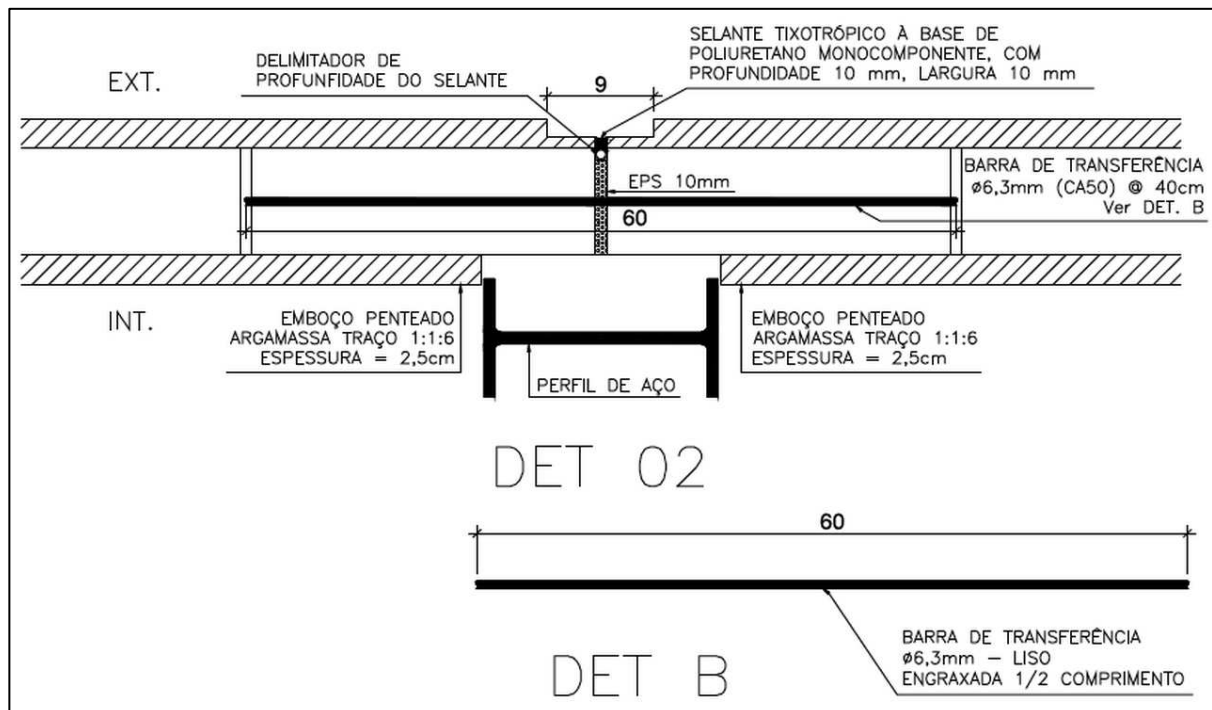
Para dar estabilidade ao modelo, na primeira fiada foram utilizados blocos de concreto preenchidos com concreto e foram colocados enrijecedores transversais nas extremidades (Figura 47). As demais fiadas foram executadas com blocos cerâmicos furados. Sobre a alvenaria foi aplicado chapisco e argamassa de revestimento externo e interno.

Na Figura 48 e na Figura 49 mostram-se detalhes executivos da junta de movimentação vertical do modelo experimental tratada com selante à base de poliuretano e com manta de elastômero EPDM, respectivamente. Esses tratamentos têm por objetivo principal impedir a passagem da água pela junta e permitir uma eventual movimentação entre as partes da parede. Além do tratamento de impermeabilização na superfície externa, este tipo de junta vertical também requer a colocação de grampos horizontais, para contenção lateral da parede (Figura 48.a e Figura 49.a), e de barras de transferência, para evitar o deslocamento diferencial entre as partes da parede (Figura 48.b e Figura 49.b). Os grampos são soldados aos pilares de aço e colocados nas juntas horizontais pares de argamassa, a cada 40 cm ao longo da altura do pilar, enquanto as barras de transferência são colocadas nas juntas horizontais ímpares de argamassa, também a cada 40 cm.

Figura 48 – Detalhe da junta de movimentação vertical do modelo experimental tratada com selante à base de poliuretano: a) posicionamento dos grampos horizontais em uma junta horizontal; b) posicionamento da barra de transferência em uma junta horizontal (dimensões em centímetros).



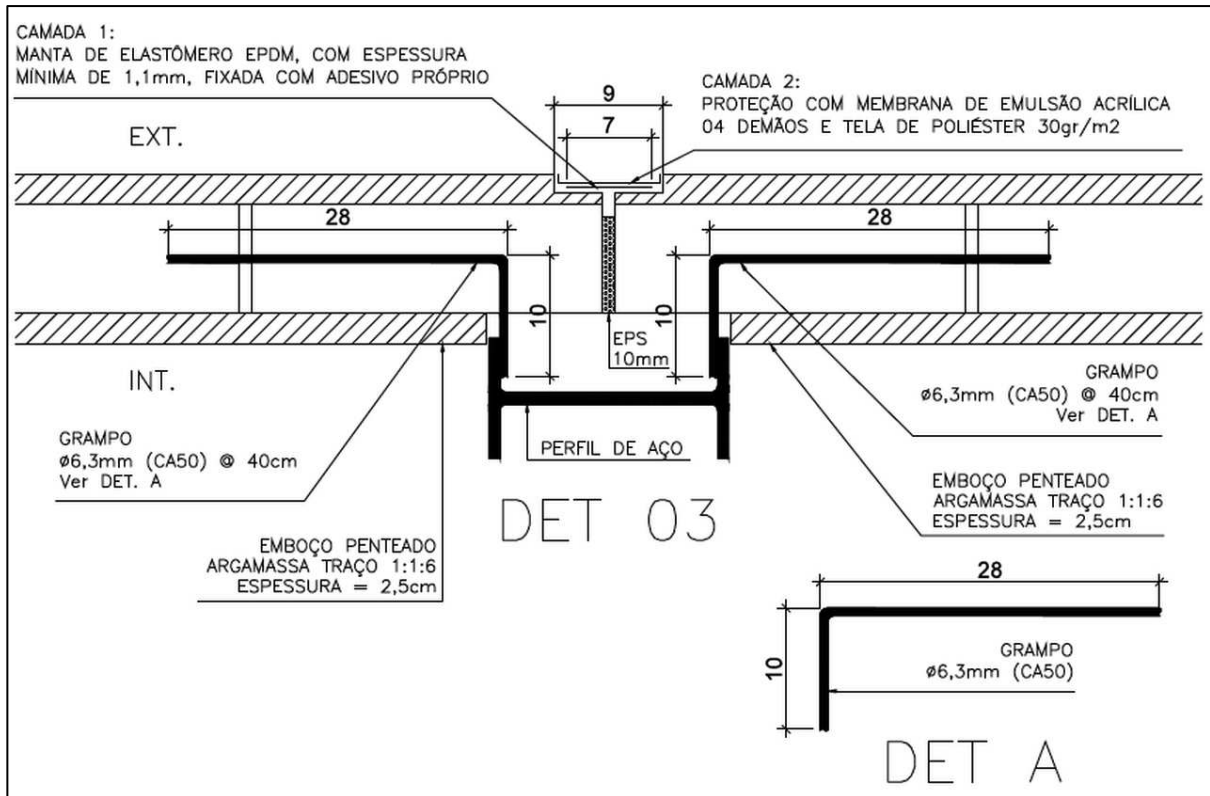
(a)



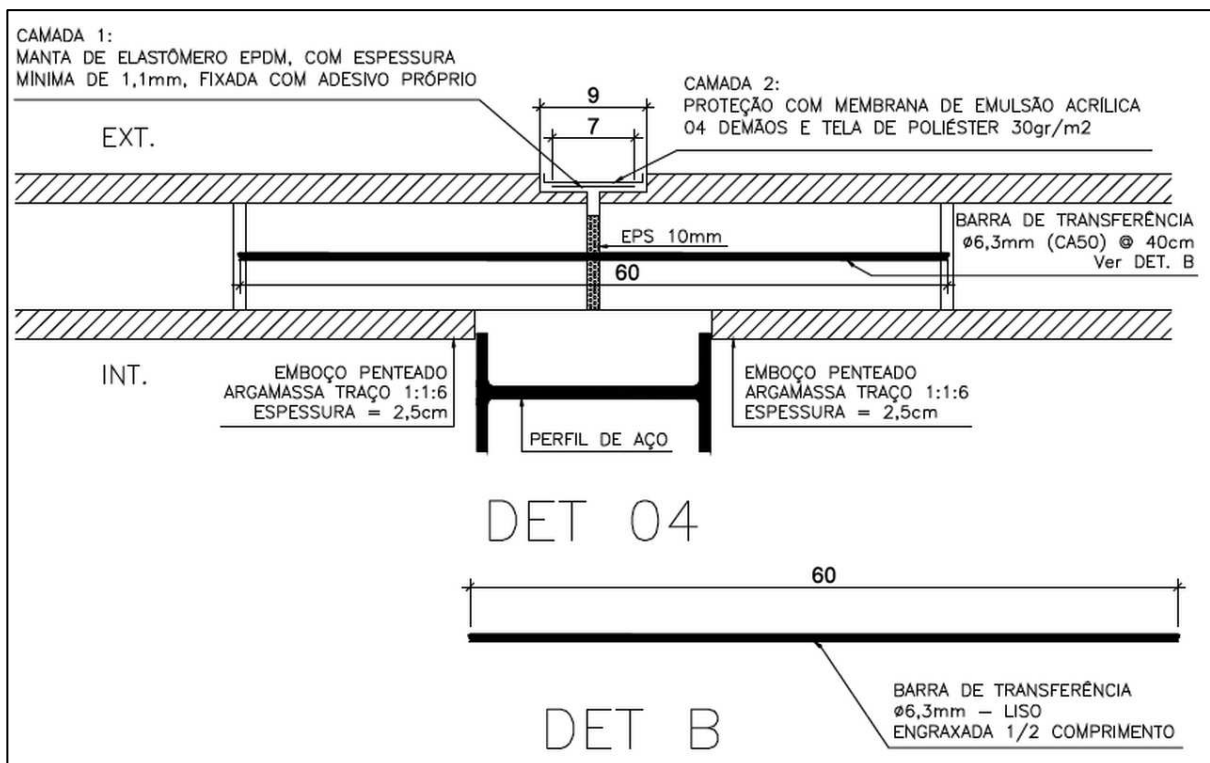
(b)

Fonte: A autora, 2019.

Figura 49 – Detalhe da junta de movimentação vertical do modelo experimental tratada com manta de elastômero EPDM: a) posicionamento dos grampos horizontais em uma junta horizontal; b) posicionamento da barra de transferência em uma junta horizontal (dimensões em centímetros).



(a)



(b)

Fonte: A autora, 2019.

3.3.2 Materiais utilizados no modelo experimental

3.3.2.1 Argamassas

O traço da argamassa de assentamento dos blocos utilizado foi de 1: 3: 12 (cimento: cal: areia natural) em volume. Para o revestimento interno e externo da parede foi utilizado um traço de argamassa de 1: 1: 6 (cimento: cal: areia natural) em volume.

A espessura da argamassa de revestimento externo e interno da alvenaria foi de 25 mm e da argamassa de assentamento dos blocos cerâmicos foi de 10 mm na horizontal e na vertical.

Foram realizados ensaios de caracterização das argamassas seguindo as prescrições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco foi determinado o índice de consistência, de acordo com as prescrições da ABNT NBR 13276:2005. O índice de consistência médio da argamassa de revestimento foi de 317,7 mm.

Para caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido foi determinada a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão de acordo com a ABNT NBR 13279:2005. A resistência à tração na flexão média da argamassa de revestimento para 28 dias foi de 1,7 MPa e a resistência à compressão axial média da argamassa de revestimento para 28 dias foi de 4,5 MPa.

3.3.2.2 Blocos cerâmicos furados

Para a alvenaria foram utilizados blocos cerâmicos furados com dimensões de 9 cm x 19 cm x 29 cm. Para caracterização mecânica e física dos blocos foi feita a determinação do índice de absorção de água e da resistência à compressão axial, seguindo prescrições da ABNT NBR 15270-2:2017.

Segundo a ABNT NBR 15270-2:2017, o índice de absorção de água deve estar entre 8% e 25% e a resistência à compressão deve ser igual ou superior a 1,5 MPa. A absorção média de água

do lote avaliado foi de 21,1% e a resistência à compressão média foi de 2,0 MPa. Dessa forma, o lote de blocos cerâmicos furados atendeu aos critérios da norma, admitindo-se utilizá-los.

3.3.3 Construção do modelo experimental de parede

Os dois exemplares do modelo experimental foram construídos no interior de um galpão desativado situado, no campus de Viçosa da UFV. Inicialmente, foram executados furos no piso do galpão com cerca de 45 cm de profundidade, para instalação dos pilares de aço de seção I. Como os modelos experimentais têm um caráter provisório, após alinhar e aprumar o pilar, os furos foram preenchidos com solo compactado e concretados nos últimos 10 cm próximos à superfície. Na Figura 50 mostram-se alguns aspectos da instalação dos pilares de aço dos modelos experimentais.

Figura 50 – Instalação dos pilares de aço dos modelos experimentais: a) execução dos furos; b) instalação dos pilares de aço; c) aspecto da concretagem do entorno do pilar.



(a)



(b)



(c)

Fonte: A autora, 2019.

Após a instalação dos pilares foram assentados os blocos das primeiras fiadas do modelo experimental. A primeira fiada foi composta por blocos de concreto, que foram preenchidos com concreto. As fiadas subsequentes foram executadas com blocos cerâmicos furados. No local da junta de movimentação foi colocada uma placa de EPS de 10 mm de espessura (Figura 51).

Figura 51 – A assentamento dos blocos: a) primeira fiada em blocos de concreto; b) fiadas subsequentes em blocos cerâmicos furados.



(a)

(b)

Fonte: A autora, 2019.

Após a execução da primeira fiada de blocos cerâmicos foram soldados grampos horizontais aos pilares, confeccionados com barra de aço tipo CA-50, com 6,3 mm de diâmetro. Esses grampos foram posicionados dentro das juntas horizontais pares de argamassa de assentamento da alvenaria, a cada duas fiadas de blocos, ou seja, a cada 40 cm ao longo da altura do pilar (Figura 52). Com a colocação desses grampos busca-se representar um sistema com alvenaria desvinculada, fora do plano da estrutura.

Figura 52 – Detalhe da colocação dos grampos nas juntas horizontais de argamassa da alvenaria.



Fonte: A autora, 2019.

Nas juntas horizontais ímpares de argamassa de assentamento foram posicionadas barras de transferência lisas, confeccionadas com aço tipo SAE 1020, com 6,3 mm de diâmetro e 60 cm de comprimento. Essas barras foram colocadas a cada duas fiadas de blocos, ou seja, a cada 40 cm ao longo da altura do pilar. Uma metade do comprimento da barra de transferência, que também fica embutida na junta horizontal de argamassa, foi engraxada, de forma a permitir a movimentação no plano da parede (Figura 53).

Figura 53 – Detalhe de colocação de uma barra de transferência em uma junta horizontal de argamassa, com uma metade do comprimento engraxada.



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 54 e na Figura 55 mostra-se o aspecto geral dos exemplares do modelo experimental após a conclusão do assentamento dos blocos cerâmicos, criação da junta vertical e posicionamento dos grampos horizontais e das barras de transferência.

Figura 54 – Aspecto geral dos dois exemplares do modelo experimental após a conclusão do assentamento dos blocos cerâmicos.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 55 – Vista posterior dos exemplares do modelo experimental: a) detalhe dos grampos horizontais soldados ao pilar de aço; b) detalhe do pilar em relação à alvenaria.



(a)

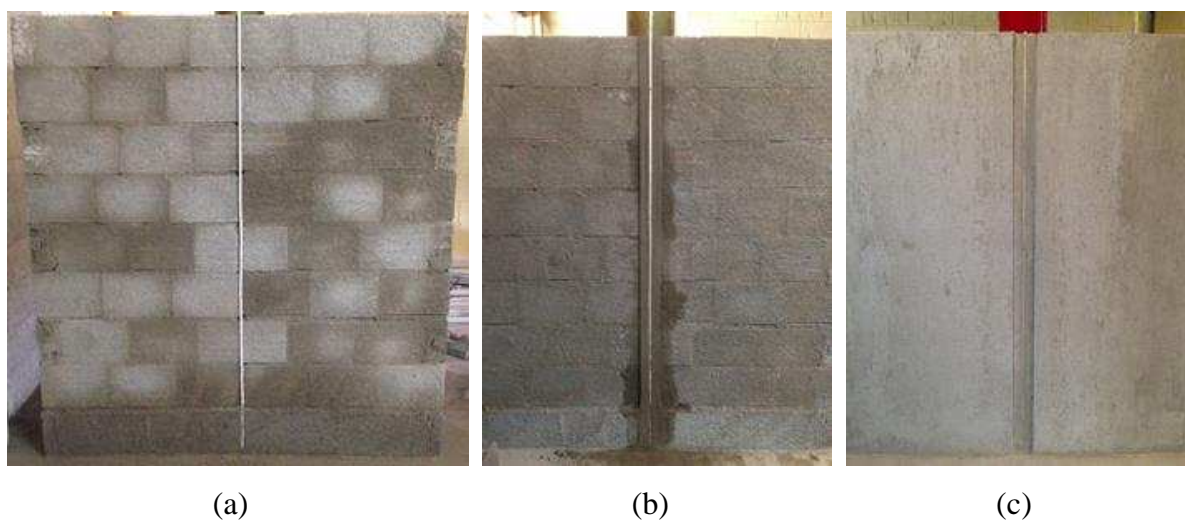


(b)

Fonte: A autora, 2019.

O próximo passo foi a aplicação do chapisco na face interna e externa dos dois exemplares, com argamassa de traço 1: 3 (cimento: areia) (Figura 56.a). Após isto foi executado um rebaixo na região da junta de movimentação com argamassa camurçada, delimitando a largura sobre a qual se aplica a manta de elastômero EPDM (Figura 56.b). Para essa argamassa do rebaixo foi utilizada uma areia fina para que a sua superfície ficasse mais lisa. Por último, a parede recebeu uma argamassa de revestimento penteada, com espessura de 2,5 cm (Figura 56.c). Após o término da cura da argamassa, os pilares de aço dos dois exemplares foram pintados com esmalte sintético.

Figura 56 – Aspectos do modelo experimental: a) modelo experimental chapiscado na face externa; b) preparação do rebaixo da junta de movimentação; c) modelo com argamassa de revestimento finalizada.



Fonte: A autora, 2019.

3.3.4 Tratamento das juntas

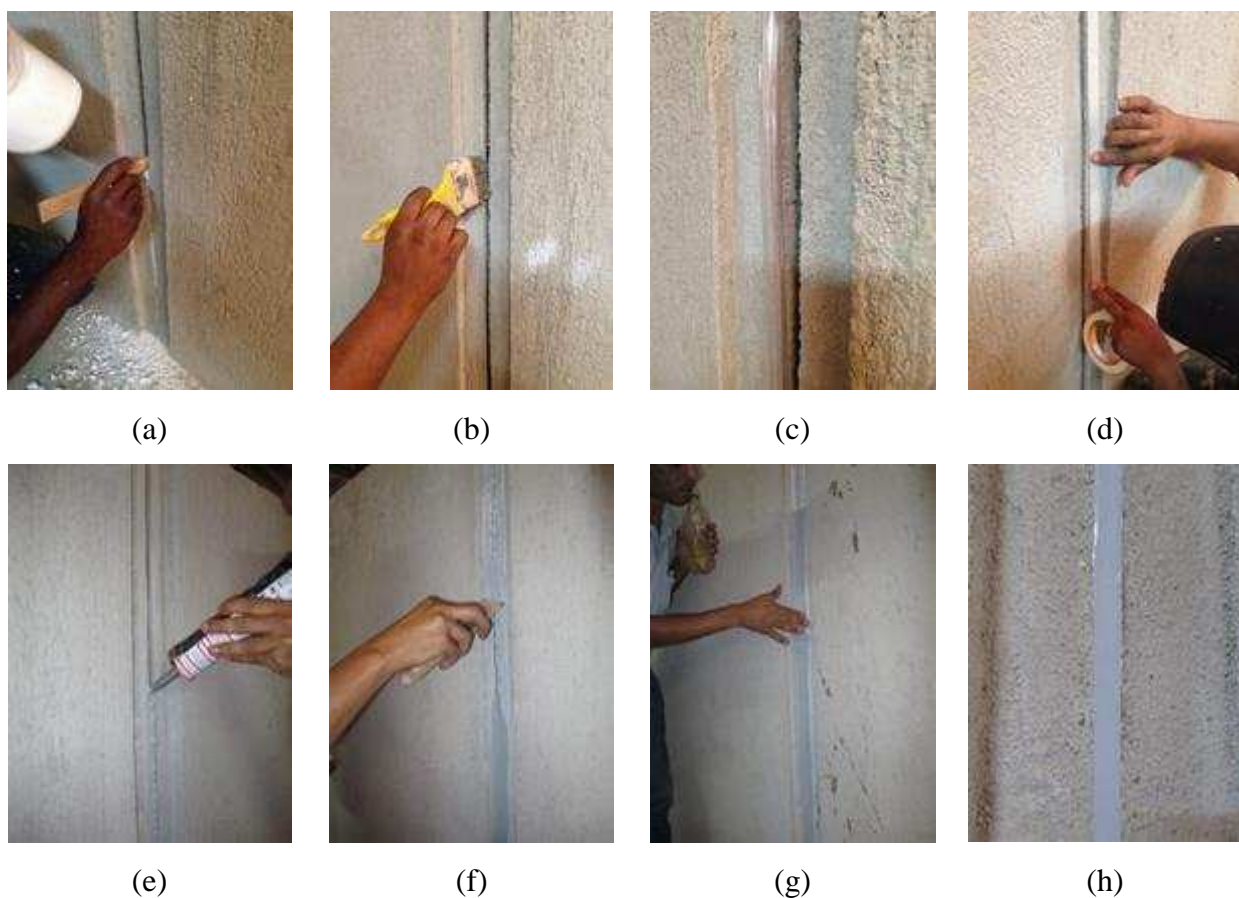
3.3.4.1 Tratamento com selante à base de poliuretano

Para realização deste tratamento foi utilizado um selante tixotrópico à base de poliuretano monocomponente. A junta vertical dos dois exemplares do modelo experimental foi inicialmente tratada com esse selante.

Raspou-se o isopor existente na junta numa profundidade de cerca de 2,0 cm para permitir a instalação de uma mangueira transparente de PVC com diâmetro interno de 1/2" e espessura de parede de 2 mm, cuja função é limitar a profundidade do selante. Conforme instruções do fabricante do selante, para juntas com abertura de até 1,0 cm, o fator de forma deve ser de 1:1. Em função disso, definiu-se a profundidade do selante com 1,0 cm.

Os resíduos existentes na região da junta foram removidos com auxílio de um pincel, a mangueira de PVC foi inserida na junta, as bordas verticais foram protegidas com fita crepe e o selante foi aplicado. Logo em seguida, com auxílio de uma espátula alisou-se a superfície do selante e, com uma mistura de água e sabão, deu-se um acabamento final com os dedos. Por fim, retirou-se a fita adesiva. Este procedimento é ilustrado na Figura 57.

Figura 57 – Procedimento de aplicação do selante à base de poliuretano: a) raspagem do isopor; b) limpeza da superfície; c) inserção do delimitador de profundidade; d) aplicação da fita adesiva nas bordas da junta; e) aplicação do selante; f) alisamento da superfície do selante com espátula; g) acabamento com mistura de água e sabão; h) detalhe da junta finalizada.



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 58 podem-se observar as faces externas e internas dos dois exemplares do modelo experimental após finalização do tratamento com selante.

Figura 58 – Exemplos do modelo experimental após finalização do tratamento com selante:
a) faces externas; b) faces internas.



Fonte: A autora, 2019.

3.3.4.2 Tratamento com manta de elastômero EPDM

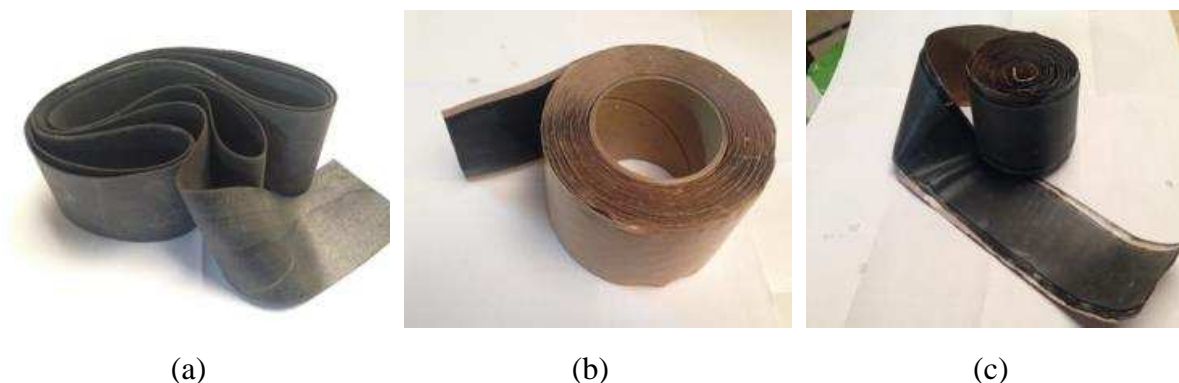
Para realização do tratamento proposto por Santos (2016) foram utilizados os seguintes materiais:

- manta de Etileno-propileno-dieno-monômero, com espessura de 1,1 mm, não reforçada, com retardante de fogo, incluindo kit composto de solução limpadora, fita de caldeação, monoadesivo e rolo de fixação, aplicada sobre berço amortecedor de emulsão asfáltica;
- membrana de polímeros acrílicos, armada com tela de poliéster de 30 g/m² em três demãos de 0,5 kg/m² de emulsão acrílica (mínimo), conforme recomendações do fabricante.

O tratamento com manta de elastômero EPDM foi realizado nos mesmos dois exemplares do modelo experimental cuja junta vertical foi inicialmente tratada com selante à base de poliuretano. Após realizar os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e de estanqueidade à água nos exemplares do modelo experimental tratados com selante, o mesmo foi retirado juntamente com o delimitador de profundidade para colocação da manta. Esta troca de materiais ocorreu após um período superior a sete dias, para que houvesse uma plena secagem da parede após o término dos ensaios de estanqueidade.

O tratamento denominado por manta de elastômero EPDM envolve na realidade a aplicação de vários produtos, como manta de elastômero EPDM, emulsão acrílica e tela de poliéster. O primeiro passo foi preparar a manta para sua aplicação sobre a junta vertical. Para isso, a manta de elastômero EPDM foi cortada em tiras de 7,0 cm (Figura 59.a) e sobre ela foi fixada uma fita de caldeação (Figura 59.b).

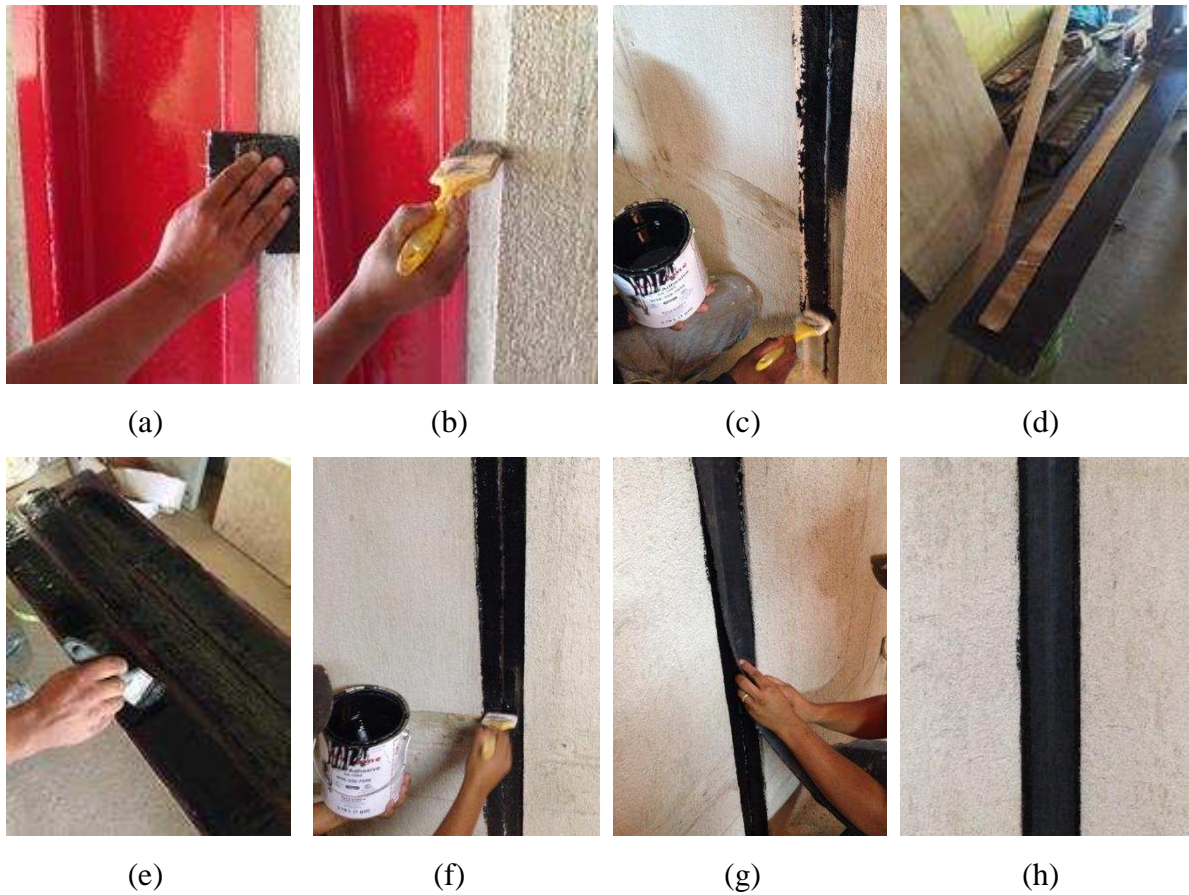
Figura 59 – Materiais utilizados na preparação da manta de elastômero EPDM: a) tiras de elastômero EPDM cortadas com 7,0 cm de largura; b) fita de caldeação; c) manta de elastômero EPDM pronta para aplicação.



Fonte: A autora, 2019.

Em seguida, preparou-se a superfície da junta para receber o tratamento. Lixou-se a região da junta e retiraram-se os resíduos com auxílio de um pincel. Aplicou-se o adesivo na região da junta e aguardou-se cerca de três horas para sua secagem. Estendeu-se a tira de manta de elastômero EPDM preparada anteriormente em um local que facilitasse a aplicação do adesivo sobre sua superfície e aplicou-se o adesivo na manta de elastômero EPDM e sobre a região da junta novamente. Aguardou-se alguns minutos até que não estivesse mais grudando ao toque, para então aplicar a manta sobre a junta. O procedimento descrito anteriormente e o modelo após a aplicação da manta de elastômero EPDM são ilustrados na Figura 60 e na Figura 61, respectivamente.

Figura 60 – Aplicação da manta de elastômero EPDM: a) lixamento da superfície; b) limpeza dos resíduos; c) aplicação da primeira demão do adesivo na junta; d) retirada do papel protetor da fita de caldeação fixada à tira de manta de elastômero EPDM; e) aplicação do adesivo sobre a manta de elastômero EPDM; f) aplicação da segunda demão do adesivo sobre a junta; g) aplicação da manta de elastômero EPDM sobre a junta; h) detalhe da junta após aplicação da manta de elastômero EPDM.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 61 – Modelo experimental após a aplicação da manta de elastômero EPDM.



Fonte: A autora, 2019.

A última etapa do tratamento corresponde à aplicação da emulsão acrílica e tela de poliéster. Para isto, diluiu-se a emulsão acrílica em 30% de água. Após cerca de 20 minutos da aplicação da manta de elastômero EPDM, aplicou-se uma demão de emulsão acrílica sobre a mesma e aguardou-se seis horas para sua secagem. Em seguida, a tela de poliéster foi cortada com uma largura um pouco maior à do rebaixo da junta vertical e no comprimento equivalente à altura do modelo experimental, aplicou-se a tela juntamente com emulsão acrílica. Após isto, foram aplicadas mais duas demãos de emulsão acrílica em intervalos de seis horas. Os eventuais excessos laterais da tela de poliéster podem ser cortados após a completa secagem de todas as demãos de emulsão acrílica. Na Figura 62, na Figura 63 e na Figura 64 podem ser vistos, respectivamente, os materiais utilizados, sua aplicação e o modelo experimental após a conclusão do tratamento.

Figura 62 – Aspecto geral da tela de poliéster (a) e emulsão acrílica (b) utilizados.



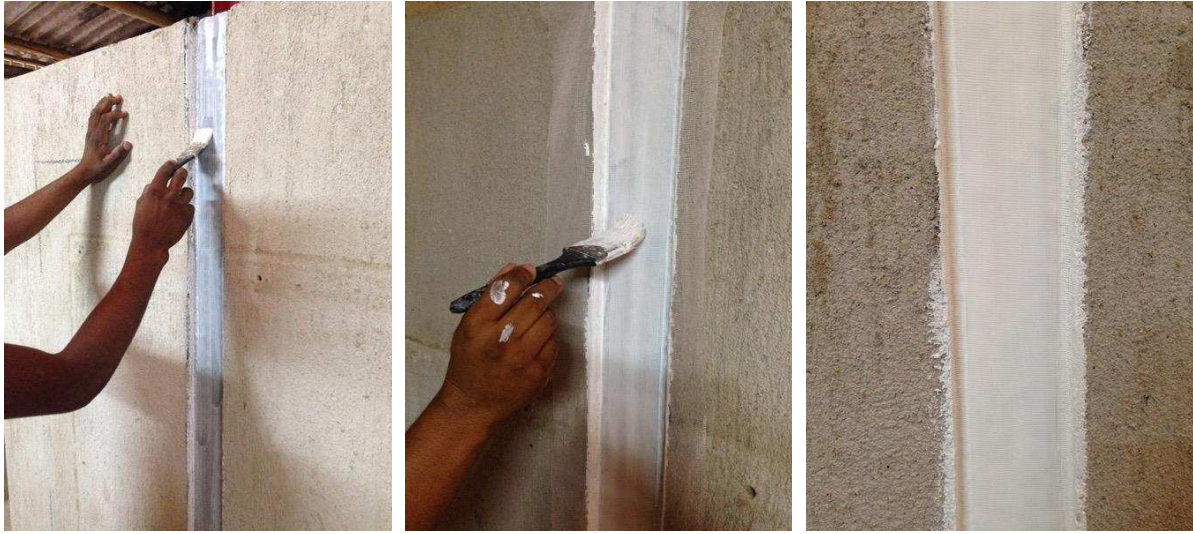
(a)



(b)

Fonte: A autora, 2019.

Figura 63 – Aplicação da emulsão acrílica e tela de poliéster: a) aplicação da primeira demão de emulsão acrílica sobre a manta de elastômero EPDM; b) aplicação da segunda demão de emulsão acrílica juntamente com a tela de poliéster; c) detalhe da junta após aplicação da quarta demão de emulsão acrílica.



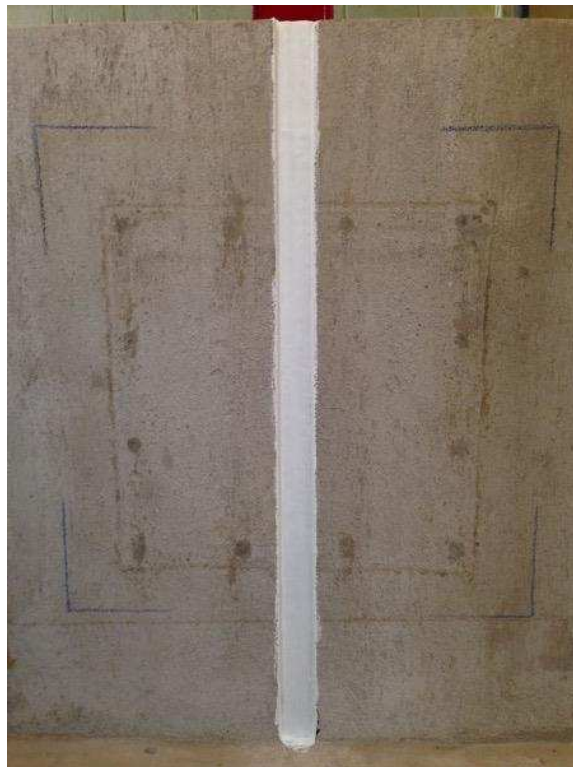
(a)

(b)

(c)

Fonte: A autora, 2019.

Figura 64 – Modelo experimental após a conclusão do tratamento com manta de elastômero EPDM.



Fonte: A autora, 2019.

3.4 Ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico

O objetivo principal com a realização do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico nos exemplares do modelo experimental é provocar o envelhecimento acelerado das juntas e da região no entorno das mesmas, a fim de representar as condições às quais esses elementos estão submetidos ao longo da vida útil do SVVE em alvenaria. Nesse ensaio o modelo é exposto a ciclos de calor e resfriamento, simulando o que ocorre durante a vida útil de uma edificação.

3.4.1 Procedimento de ensaio

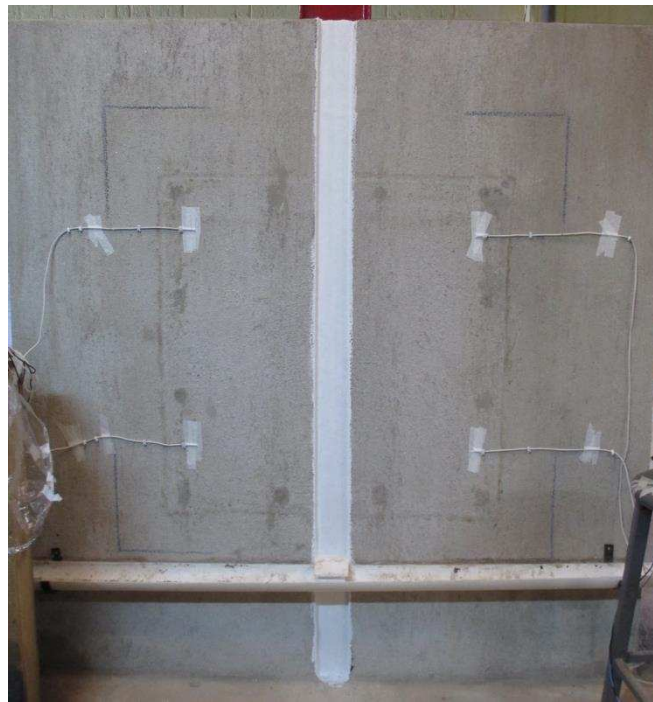
O ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico foi realizado com base nas prescrições do Anexo E da ABNT NBR 15575-4:2013 (item 2.7.1), com algumas adaptações, conforme descrito a seguir:

1. Posicionou-se o painel radiante defronte ao modelo experimental, de forma que a temperatura da face externa se mantivesse uniforme e igual a $(80 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$.
2. O modelo experimental foi submetido a um total de dez ciclos de ação do calor e resfriamento com água, sendo cinco ciclos sucessivos em dois dias consecutivos. Para isso, fez-se:
 - ação do calor: após atingir-se a temperatura superficial de $(80 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$, a mesma foi mantida por um período de uma hora;
 - resfriamento com água: após a interrupção da ação do calor, fez-se o resfriamento da face externa do modelo experimental aspergindo água sobre toda a superfície ensaiada, até que se atingiu a temperatura superficial de $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ ou até que a água aspergida, em temperatura ambiente, não diminuísse mais a temperatura superficial da face externa.
3. Durante o ensaio foram registradas as degradações observadas nas juntas do modelo experimental e para cada ciclo foram realizadas fotografias com auxílio de uma câmera digital e uma câmera térmica, antes e após o aquecimento e após o resfriamento do modelo experimental.

Os termopares foram dispostos conforme recomendações da ABNT NBR 15575-4:2013 (Figura 19.a do item 2.7.1), com exceção do termopar previsto para o centro do corpo de prova.

No modelo utilizado no presente trabalho optou-se por não colocar este termopar por ser o local onde se encontram os dispositivos de conexão com o pilar de aço e onde se realizou o tratamento da junta vertical. O posicionamento dos termopares no modelo experimental é mostrado na Figura 65.

Figura 65 – Posicionamento termopares na superfície do modelo experimental.



Fonte: A autora, 2019.

Decidiu-se também não colocar o defletômetro no centro do modelo experimental, conforme recomendado na ABNT NBR 15575-4:2013 (Figura 19.b do item 2.7.1), devido ao fato do deslocamento horizontal do ponto central do modelo experimental fora do plano estar impedido pela conexão das partes da parede com o pilar de aço.

Para resfriamento do modelo experimental foi utilizada uma mangueira com um bico aspersor de água e foi instalada uma tubulação auxiliar na parte inferior do modelo experimental para escoamento da água (Figura 66). Para auxiliar o resfriamento, por algumas vezes fez-se uso de um ventilador.

Figura 66 – Procedimento de resfriamento do modelo experimental com auxílio de uma mangueira com bico aspersor de água.



Fonte: A autora, 2019.

Vale ressaltar que ao encostar o painel radiante no modelo experimental, dois vazios se formavam tanto na parte superior, quanto na parte inferior do contato do painel com a região da junta. Para minimizar a perda de calor nessa região, pequenos pedaços de lã de vidro foram cortados e encaixados nesses orifícios, como pode ser visto na Figura 67, na qual se apresenta uma visão geral do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico em andamento. Além disso, tendo em vista que o piso do local era irregular, para minimizar a perda de calor entre a superfície da parede e as laterais do painel, foi necessário usar pequenos calços de madeira sob as rodas da base da estrutura de suporte e entre o painel radiante e a estrutura de suporte (Figura 67).

Figura 67 – Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico em andamento.



Fonte: A autora, 2019.

Para registrar a distribuição de temperatura na superfície externa e interna do modelo experimental antes e depois do aquecimento e do resfriamento, foi utilizada uma câmera térmica (marca FLIR – modelo E60), que faz o registro da radiação infravermelha. Com isto foi possível registrar a temperatura da superfície externa e interna ao longo dos dez ciclos de aquecimento e resfriamento. Na Figura 68 mostra-se o aspecto geral da câmera térmica utilizada.

Figura 68 – Aspecto geral da câmera térmica (marca FLIR – modelo E60) utilizada nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: A autora, 2019.

Para realizar uma medição instantânea da temperatura nas superfícies do modelo foi utilizado um termômetro infravermelho (Figura 69), que permitiu verificar de forma expedita as temperaturas indicadas pelos controladores e pela câmera térmica.

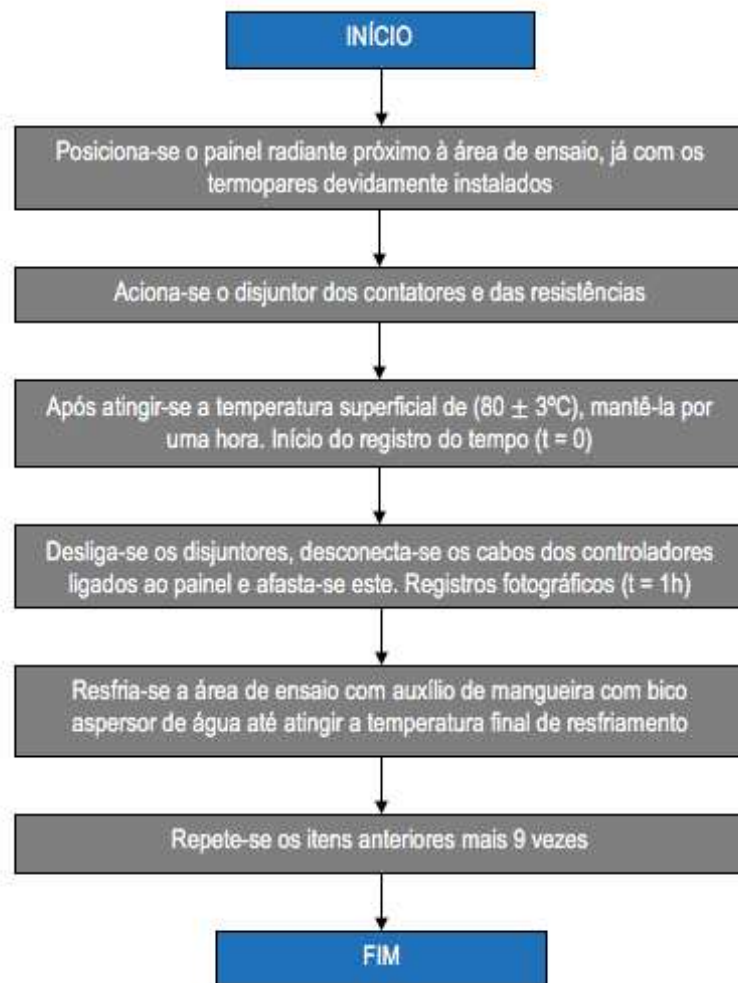
Figura 69 – Termômetro infravermelho utilizado nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 70 é apresentado o fluxograma de execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.

Figura 70 – Fluxograma de execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: A autora, 2019.

3.5 Ensaio de estanqueidade à água

O objetivo principal da realização do ensaio de estanqueidade à água no modelo experimental do presente trabalho é avaliar a penetração de água por meio das juntas típicas utilizadas nos SVVE em alvenaria para estruturas de aço, sujeitas a envelhecimento acelerado. Com isto pode-se verificar o desempenho quanto à estanqueidade à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes, considerando-se a ação dos ventos.

3.5.1 Procedimento de ensaio

Após os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e secagem da parede por um período de sete dias, foi realizado o ensaio de estanqueidade à água no modelo experimental.

O ensaio foi realizado de acordo com as prescrições do Anexo C da ABNT NBR 15575-4:2013 (item 2.7.2), indicadas para verificação da estanqueidade à água de SVVE. Para realização deste ensaio utilizou-se a câmara de estanqueidade desenvolvida por Sathler (2018).

Com base nessas recomendações, o ensaio foi realizado conforme descrito a seguir:

1. Inicialmente fez-se a instalação da câmara de estanqueidade na face externa do modelo, tomando o devido cuidado de vedar a área de contato entre a câmara e a parede, com auxílio de parafusos e silicone.
2. Calibrou-se a vazão e a pressão pneumática que deveriam ser aplicadas.
3. Acionou-se o cronômetro e colocou-se a câmara de estanqueidade em funcionamento.
4. Fez-se o registro fotográfico da face interna do modelo experimental a cada 15 minutos, tomando-se o cuidado de fazer o registro do tempo de aparecimento da primeira mancha de umidade.
5. Após sete horas de execução do ensaio e havendo o aparecimento de manchas na face interna do modelo, desligou-se o cronômetro e interrompeu-se o funcionamento da câmara de estanqueidade. Nos casos em que não se detectou a presença de manchas nesse período de tempo, estendeu-se o ensaio por mais uma hora, totalizando oito horas, a fim de verificar se surgiriam manchas de umidade neste acréscimo de tempo. Nos casos em que a mancha de umidade apareceu entre sete e oito horas de ensaio, prolongou-se o ensaio por mais uma hora para o acompanhamento do crescimento da mancha.
6. Realizou-se a análise das imagens captadas por uma câmera fotográfica, de modo a contabilizar a porcentagem da área úmida em relação à área total ensaiada.

A pressão pneumática uniforme indicada pela ABNT NBR 15575-4:2013 é de até 50 Pa dependendo da região do Brasil em que se encontra a edificação. No entanto, optou-se por adotar uma pressão de 144 Pa, que corresponde ao valor mínimo utilizado por Sathler (2018). Essa autora chegou a esse valor de pressão com base em uma velocidade básica de vento (v_0) de 30 m/s, prescrita pela ABNT NBR 6123:1988, e um período de retorno de dez anos.

Comparando as prescrições da ABNT NBR 15575-4:2013 com normas internacionais para avaliação de estanqueidade à água, Sathler (2018) verificou que as pressões pneumáticas indicadas pela Norma Brasileira para este ensaio são consideravelmente menores do que as indicadas pelas normas internacionais. A partir disso, para definição de uma pressão pneumática de vento mais realista a ser aplicada no ensaio de estanqueidade, essa autora tomou como base as prescrições da ABNT NBR 6123:1988, que leva em consideração as regiões do território brasileiro, as características dos terrenos onde estão as edificações e as dimensões das edificações. As velocidades básicas de vento (v_0) definidas por essa norma estão associadas a um período de retorno de cinquenta anos e, segundo as referências citadas por Sathler (2018), este é um critério muito rigoroso para se verificar os Estados Limites de Serviço de estruturas de edifícios. Em função dessas ponderações, essa autora considerou a velocidade básica do vento para um período de retorno de dez anos no cálculo da pressão pneumática.

Para considerar um período de exposição menor que cinquenta anos, a ABNT NBR 6123:1988 requer a alteração do fator estatístico (S_3). Sathler (2018) fez os cálculos necessários tomando como base a maior e menor velocidade básica de vento indicadas pela ABNT NBR 6123:1988 (30 m/s e 50 m/s), obtendo as pressões pneumáticas correspondentes de 144 Pa e 400 Pa, respectivamente.

Entende-se que o valor de pressão adotado a partir dessas considerações representa de forma mais realista as condições às quais um SVVE está submetido ao longo de sua vida útil. Uma visão mais ampla sobre a justificativa de se adotar o valor de pressão mínima de 144 Pa pode ser visto na Dissertação de Mestrado de Sathler (2018), que desenvolveu o seu trabalho no mesmo Grupo de Pesquisa de Engenharia da Construção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFV.

A fim de manter a pressão interna da câmara de estanqueidade estável, os espaços entre a junta e a câmara foram vedados com tiras de borracha e silicone.

Controlou-se a pressão manométrica no interior da câmara de estanqueidade com auxílio de uma válvula de controle de pressão conectada a uma tubulação ligada à câmara. A pressão foi mantida com a injeção de ar proveniente de um compressor e com auxílio de um manômetro tipo coluna líquida em “U” acoplado à tubulação ligada à câmara de estanqueidade. Ambos os equipamentos podem ser vistos na Figura 71.

Figura 71 – Equipamentos ligados à câmara de estanqueidade: a) compressor de ar; b) manômetro tipo coluna líquida em “U”.



(a)



(b)

Fonte: A autora, 2019.

Utilizou-se também um termohigrômetro (Figura 72) para medir a temperatura ambiente (em graus Fahrenheit) e a umidade do local, no momento de captura de cada imagem.

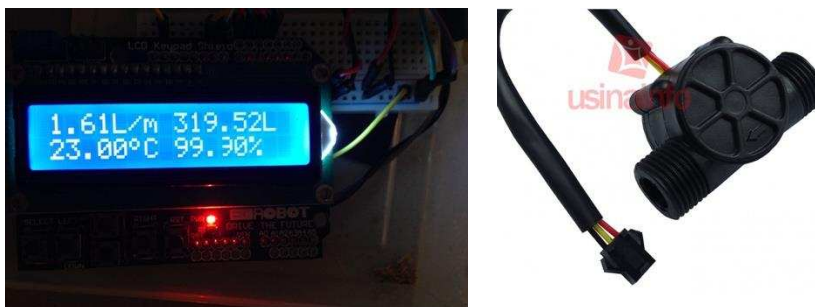
Figura 72 – Termohigrômetro.



Fonte: A autora, 2019.

A temperatura e a umidade dentro da câmara de estanqueidade foram medidas ao longo de todo o ensaio com auxílio de um controlador desenvolvido a partir de uma plataforma Arduino (Figura 73.a) e um sensor de umidade e temperatura. Com auxílio de um sensor de fluxo (Figura 73.b), o mesmo controlador Arduino também monitora a vazão de água aspergida na área de ensaio da face externa da parede dentro da câmara. A água foi aspergida através de três bicos aspersores do tipo leque, que formavam uma linha horizontal nivelada de água.

Figura 73 – Controlador Arduino para monitoramento da câmara de estanqueidade: a) display do controlador Arduino, com valores de vazão (L/min/m²), temperatura ambiente no interior da câmara (°C) e umidade no interior da câmara (%); b) sensor de fluxo de água.



(a)

(b)

Fonte: a) A autora, 2019; b) <https://www.usinainfo.com.br>, acesso dia 26/02/18.

A vazão de água no interior da câmara foi de 1,61 L/min/m² e foi calculada para uma área de ensaio de 0,536 m², tomando-se como base a vazão de (3,0 +/- 0,3) L/min/m², prescrita pela ABNT NBR 15575-4:2013. A vazão de água foi controlada com auxílio de uma fonte regulável de 12V, ligada a uma bomba centrífuga (Figura 74).

Figura 74 – Dispositivos para controle da vazão no interior da câmara de estanqueidade: a) fonte regulável de 12 V; b) bomba centrífuga.



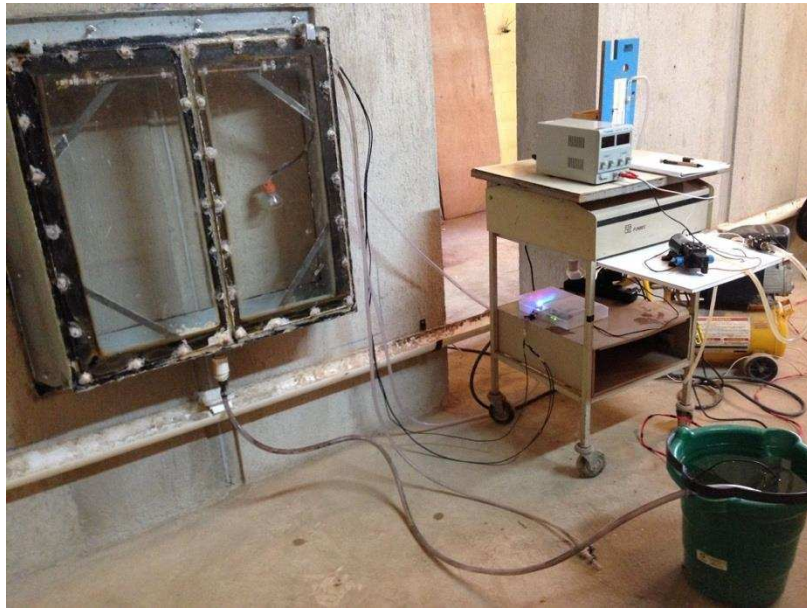
(a)

(b)

Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 75 é possível ter uma visão geral do conjunto de equipamentos ligados à câmara de estanqueidade antes do início do ensaio.

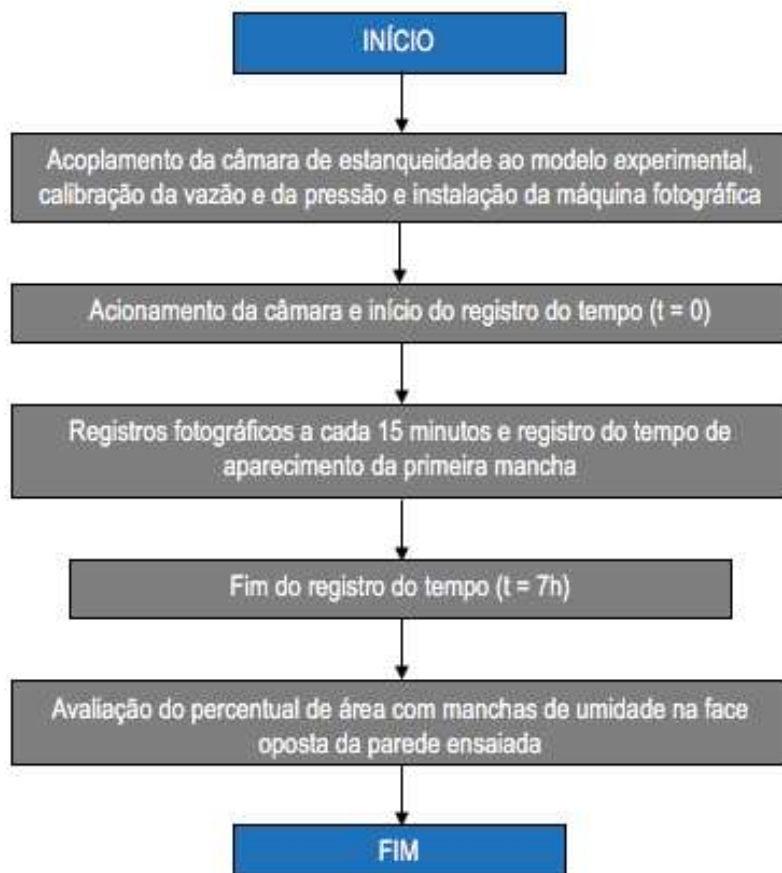
Figura 75 – Equipamento montado para ensaio de estanqueidade à água.



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 76 é apresentado o fluxograma de execução do ensaio de estanqueidade à água.

Figura 76 – Fluxograma de execução do ensaio de estanqueidade à água.



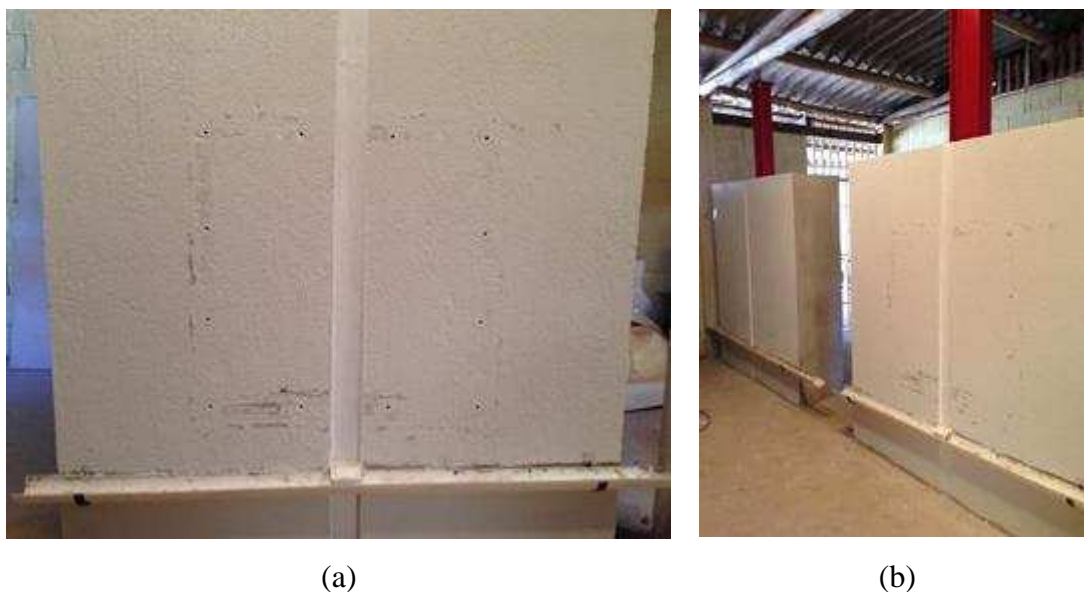
Fonte: A autora, 2019.

O ensaio de estanqueidade à água foi realizado inicialmente nos exemplares do modelo experimental com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com selante à base de poliuretano. Após a execução destes ensaios, os orifícios feitos nos exemplares do modelo experimental para inserir os parafusos de fixação da câmara de estanqueidade foram cobertos com argamassa. Em um segundo momento, o ensaio foi realizado também nos exemplares do modelo experimental com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM. Por fim, a superfície da argamassa da face externa dos exemplares do modelo experimental com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM foi pintada com tinta acrílica e foi realizado um novo ensaio de estanqueidade à água.

Foram utilizadas duas demãos de selador e duas demãos de tinta acrílica na cor branca. A primeira demão de selador foi aplicada pela manhã e após aproximadamente cinco horas, deu-se a segunda demão. No dia seguinte, repetiu-se o processo com a tinta acrílica. O ensaio de estanqueidade à água foi realizado vinte dias após a pintura final.

A pintura da alvenaria foi feita com o intuito de impermeabilizá-la, buscando-se avaliar se a eventual passagem de água poderia ocorrer somente pela junta do modelo experimental. Na Figura 77 e na Figura 78 pode-se observar os exemplares do modelo experimental após a pintura da alvenaria com tinta acrílica e com a câmara de estanqueidade instalada, respectivamente.

Figura 77 – Aspectos gerais dos exemplares do modelo experimental após pintura com tinta acrílica:
a) vista frontal; b) vista geral dos dois exemplares.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 78 – Câmara de estanqueidade instalada para início ensaio de estanqueidade à água no modelo PAR-JV-R2, pintado com tinta acrílica.



Fonte: A autora, 2019.

3.5.2 Avaliação da penetração de água nas juntas verticais

Para avaliar a penetração de água nas juntas e interfaces foi realizado um acompanhamento das manchas de umidade a olho nu e também por meio do processamento de imagens captadas por uma câmera fotográfica digital. Neste caso, fez-se uma comparação do contraste de cores das imagens registradas ao longo do ensaio, de forma a identificar a porcentagem de área úmida em relação à área total ensaiada.

Para determinação da porcentagem de área úmida em relação a área ensaiada, fez-se uso de um programa computacional de processamento de imagens apresentado por Sathler (2018). Além da análise de porcentagem de manchas de umidade em relação a área total ensaiada, foi feita uma adaptação da metodologia de cálculo para desconsiderar a área do pilar, contabilizando somente a área de alvenaria na região do ensaio.

As fotografias foram realizadas na face interna dos exemplares, oposta à face onde foi fixada a câmara de estanqueidade. A câmera fotográfica foi acionada a cada 15 minutos, a partir do início do ensaio, e, além disso, foi registrado o tempo de aparição da primeira mancha de umidade na face interna, oposta à incidência de água e pressão.

Segundo a ABNT NBR 15575-4:2013, as fotografias devem ser realizadas a um metro de distância do modelo experimental. Assim, utilizou-se uma adaptação da caixa de isopor utilizada por Sathler (2018), que possui uma lâmpada acoplada, possibilitando que as fotos estejam sempre na mesma distância recomendada e evitando-se as eventuais interferências luminosas (Figura 79).

Figura 79 – Caixa de isopor utilizada nos registros fotográficos.



Fonte: A autora, 2019.

4

Resultados e Discussão

4.1 Considerações preliminares

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussão relativos à avaliação de desempenho quanto à estanqueidade de juntas típicas de SVVE em alvenaria para estruturas de aço, sujeitas a envelhecimento acelerado.

Os resultados foram agrupados em função do tipo de tratamento da superfície de argamassa (sem pintura ou com pintura) e do tratamento dado à junta vertical do modelo experimental. Para cada caso são apresentadas as seguintes informações:

- registro das degradações observadas nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico. Foram observados o surgimento e a evolução de manchas de umidade na face interna dos exemplares, a degradação dos materiais na região das juntas e as fissuras na junta e na região no entorno da mesma;
- registro das manchas de umidade na face interna dos exemplares e determinação do percentual de área molhada nos ensaios de estanqueidade.

Ao final apresenta-se uma avaliação da fissuração nos exemplares do modelo experimental de parede, com o objetivo de compreender a influência das fissuras sobre a formação das manchas de umidade para os dois casos de tratamento dados à junta vertical.

4.2 Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano

4.2.1 Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

Para o modelo experimental de parede com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com selante à base de poliuretano, o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico foi realizado conforme metodologia apresentada no item 3.4.

Antes do início do primeiro aquecimento, em cada um dos dias de ensaio, que se deu pela manhã para os dois exemplares, as faces externas e internas apresentavam temperatura variando, entre 20°C e 23°C.

a) Modelo experimental PAR-JV-R1

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental PAR-JV-R1 sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano, com o registro das degradações observadas após cada ciclo de aquecimento e resfriamento.

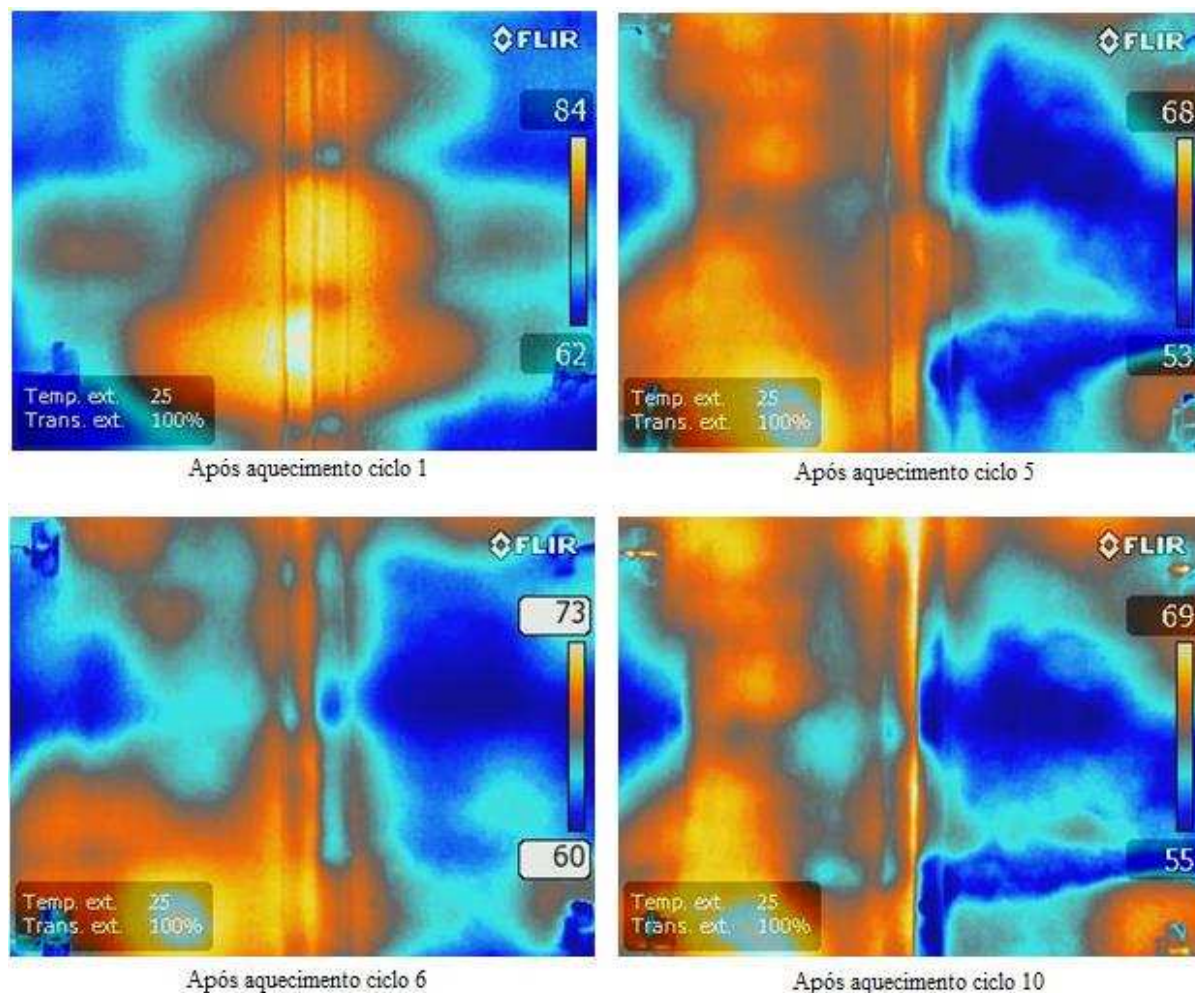
Tabela 2 – Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental PAR-JV-R1 sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano.

Ciclo	Tempo do Ciclo (h)	Temperatura no Final do Ciclo (°C)		Degradações observadas
		Ambiente	Média na superfície	
Início	0	24,4	-	Fissuras na superfície da argamassa de revestimento
1	1:00	-	79,9	Não observaram-se alterações significativas
2	1:00	-	82,4	Não observaram-se alterações significativas
3	1:00	-	79,2	Não observaram-se alterações significativas
4	1:00	-	78,2	Não observaram-se alterações significativas
5	1:00	-	77,8	Não observaram-se alterações significativas
6	1:00	26,2	78,8	Não observaram-se alterações significativas
7	1:00	-	78,5	Não observaram-se alterações significativas
8	1:00	34,6	79,5	Não observaram-se alterações significativas
9	1:00	34,0	78,6	Não observaram-se alterações significativas
10	1:00	31,2	81,6	Não observaram-se alterações significativas

No Apêndice A são apresentadas as planilhas completas referentes aos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.

Após cada ciclo de ação do calor observou-se que as maiores temperaturas registradas pela câmera térmica se encontravam na região da junta e em suas proximidades, conforme Figura 80.

Figura 80 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental PAR-JV-R1, tratado com selante à base de poliuretano, após aquecimento.



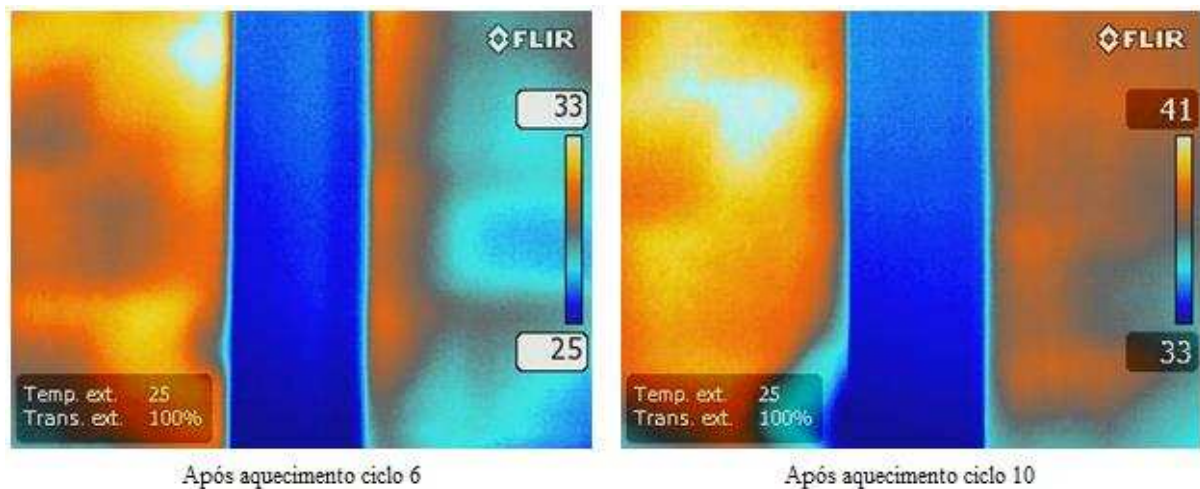
Fonte: A autora, 2019.

Os valores absolutos de temperaturas na face externa do modelo variaram entre os ciclos devido à variação do tempo necessário para avaliação da deterioração, do aparecimento e/ou aumento de fissuras, assim como à ocorrência de correntes de vento no galpão onde foram realizados os experimentos, à variação da temperatura ambiente, à umidade e à temperatura da água utilizada para resfriamento superficial ao longo do dia e entre os dias de ensaio.

Os valores absolutos da temperatura na face interna do modelo também variaram pelos mesmos motivos citados para a face externa, apresentados anteriormente. Na Figura 81, na qual é

mostrada a distribuição de temperatura após o aquecimento dos ciclos 6 e 10 para o modelo experimental PAR-JV-R1, pode-se observar o aparecimento de uma região com temperatura inferior ao esperado após aquecimento do décimo ciclo, no encontro do perfil metálico com a alvenaria. Há evidências de que isto se deu devido à passagem de água por essa região, que apresentou mancha de umidade no local em sua face interna. Isto pode indicar que a fissuração permitiu a passagem da água, o que produziu o resfriamento.

Figura 81 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1, tratado com selante à base de poliuretano, após aquecimento.



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 82 é possível observar áreas de umidade na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 após o término do décimo ciclo do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Nota-se que a mancha de umidade superior à esquerda do pilar de aço, verificada na Figura 82, correspondente à área com temperatura inferior ao esperado que foi observada após o ciclo 10 (Figura 81).

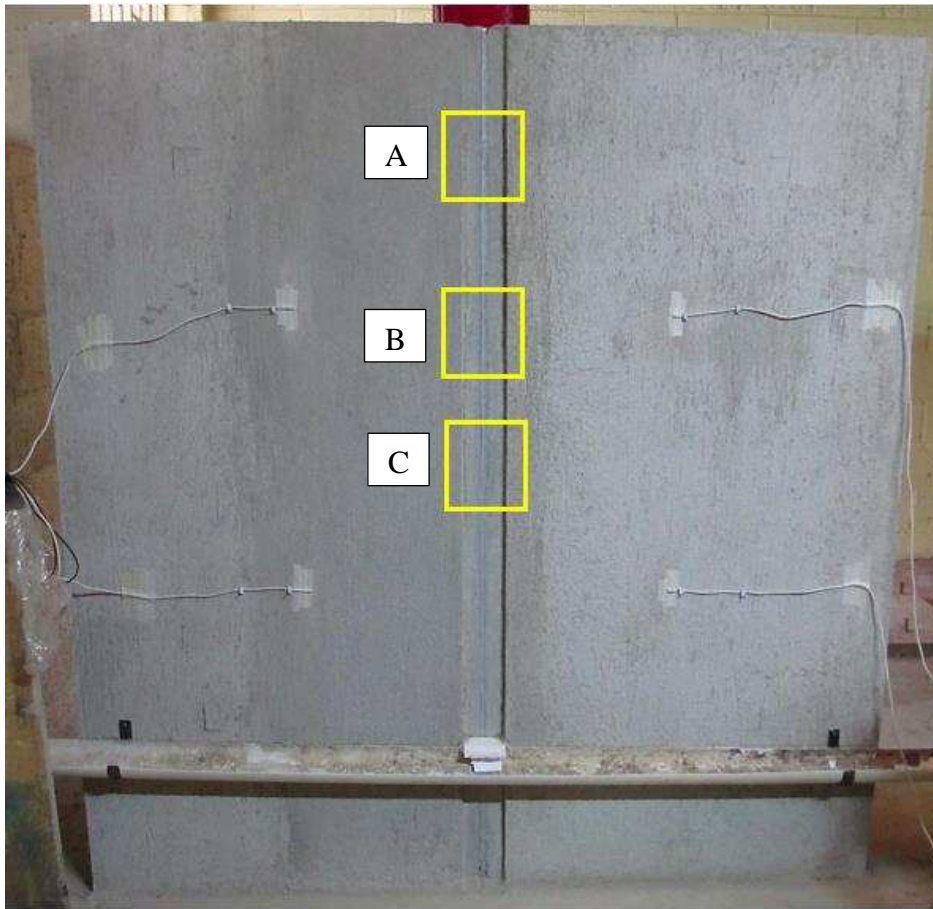
Figura 82 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 após o término do ciclo 10.



Fonte: A autora, 2019.

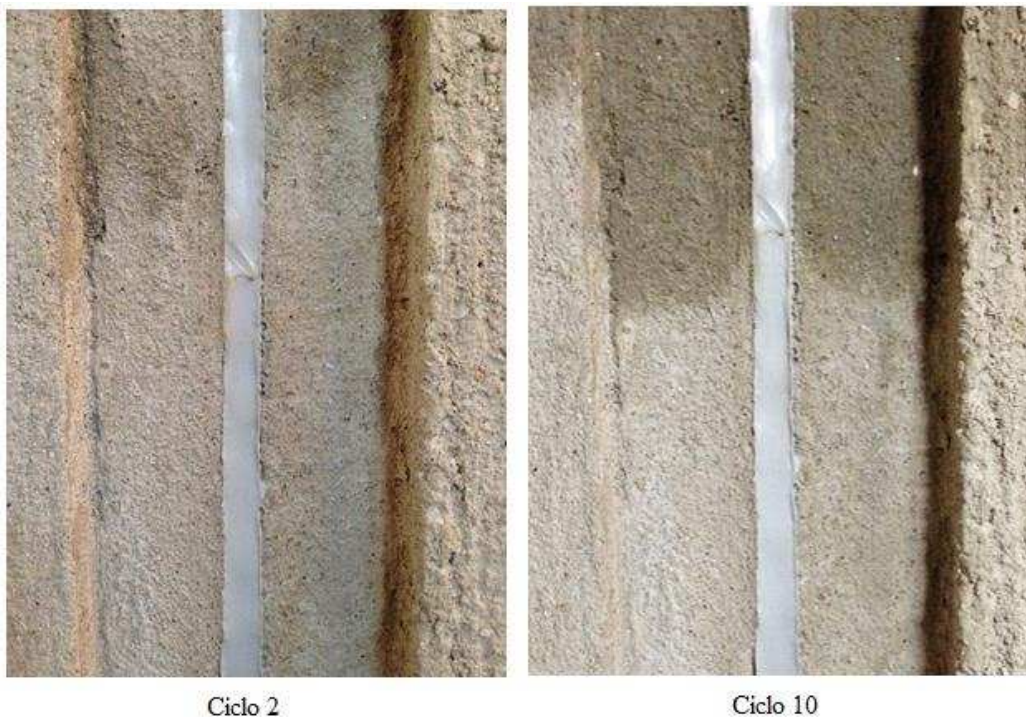
Foram selecionadas três regiões no modelo experimental para uma análise mais detalhada do aparecimento/aumento de fissuras, deterioração e mudanças visuais no tratamento de impermeabilização utilizado, denominadas A, B e C. Essas regiões foram demarcadas e mostradas na Figura 83. Conforme pode ser visto nos respectivos detalhes das regiões (Figura 84, Figura 85 e Figura 86), não houve mudanças consideráveis na aparência do selante utilizado no modelo experimental PAR-JV-R1, assim como em sua textura e cor, após aquecimento nos ciclos indicados.

Figura 83 – Modelo PAR-JV-R1 antes do início dos ensaios.



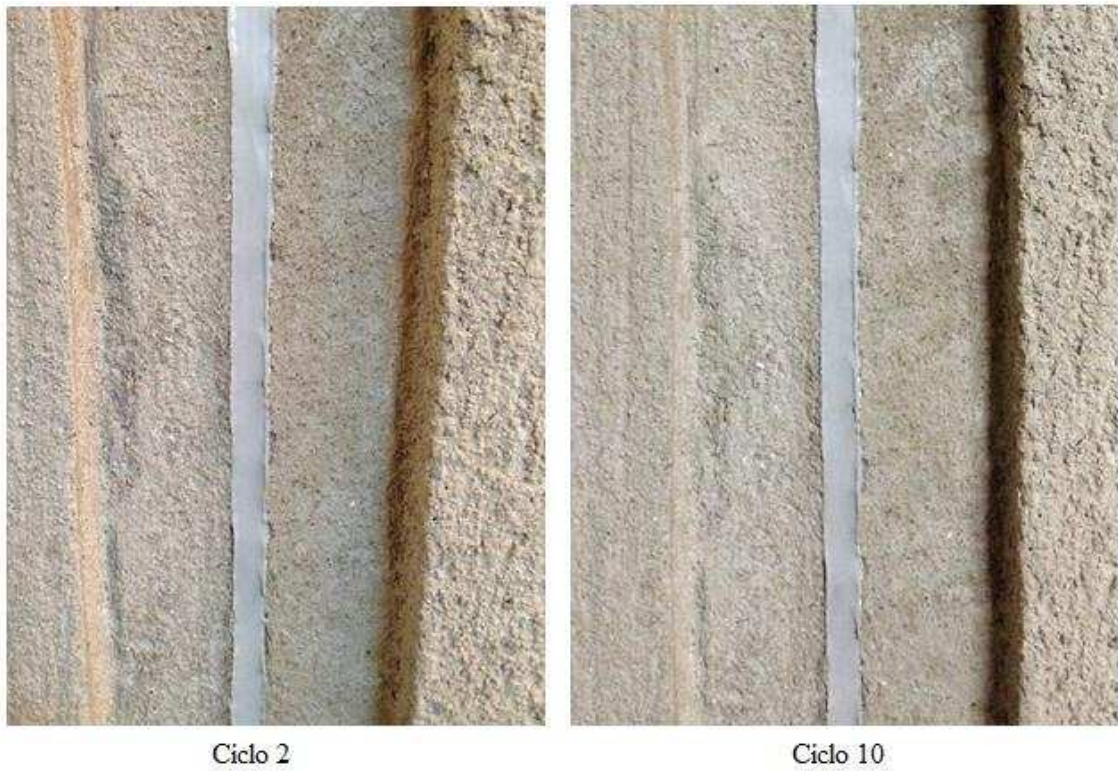
Fonte: A autora, 2019.

Figura 84 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1 na região A indicada.



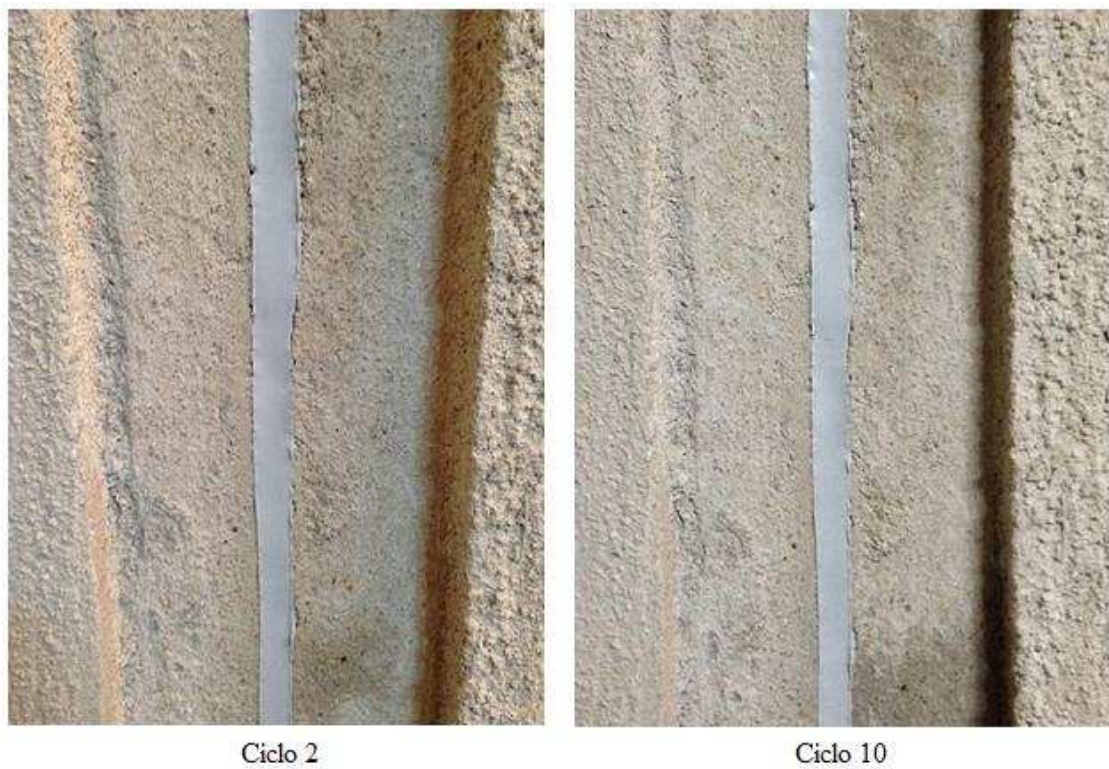
Fonte: A autora, 2019.

Figura 85 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1 na região B indicada.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 86 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1 na região C indicada.



Fonte: A autora, 2019.

b) Modelo experimental PAR-JV-R2

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental PAR-JV-R2 sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano, com o registro das degradações observadas após cada ciclo de aquecimento e resfriamento.

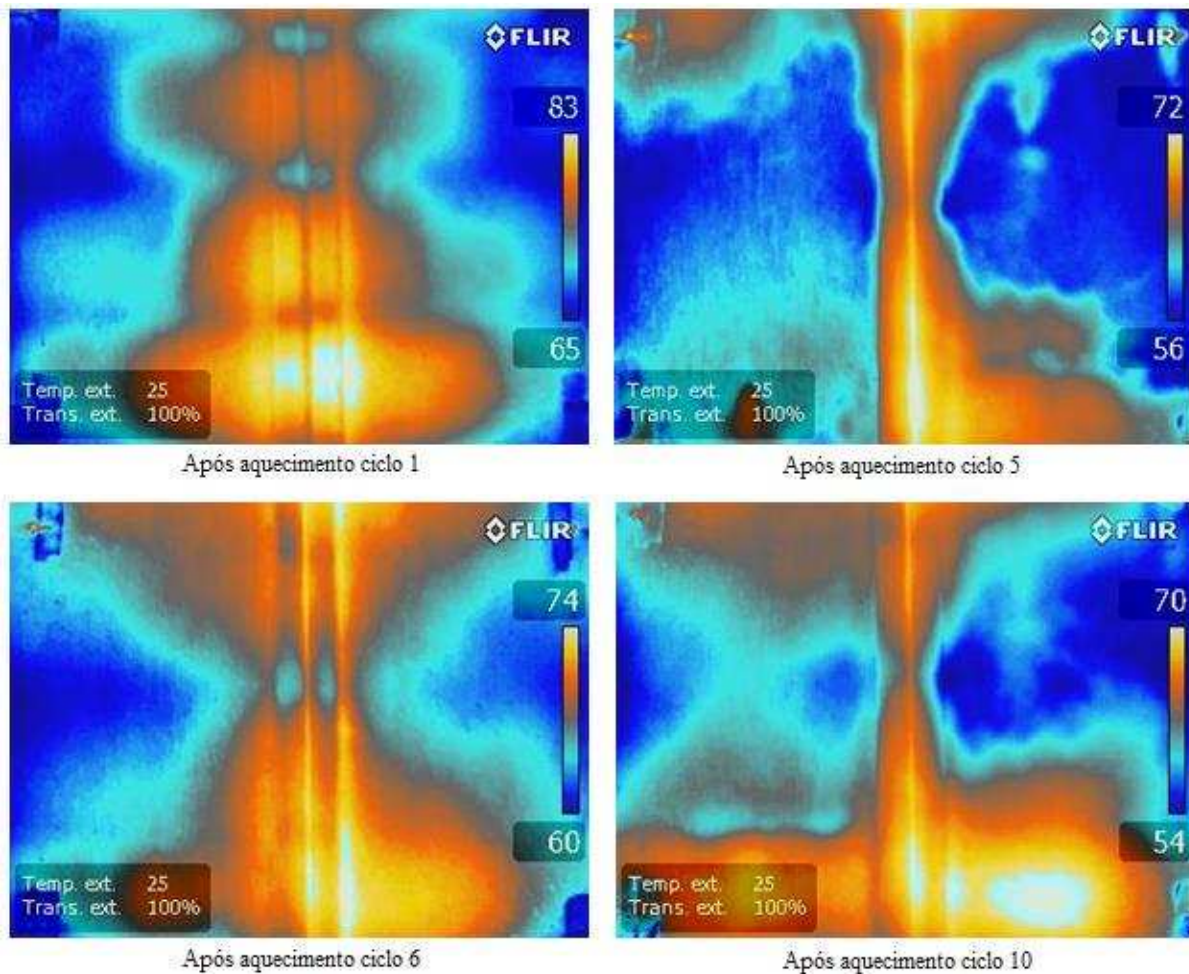
Tabela 3 – Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental PAR-JV-R2 sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano.

Ciclo	Tempo decorrido de ciclos (h)	Temperatura (°C)		Degradações observadas
		Ambiente	Média na superfície	
Início	0	23,2	-	Fissuras na superfície da argamassa de revestimento
1	1:00	23,6	79,6	Não observaram-se alterações significativas
2	2:00	25,6	82,2	Não observaram-se alterações significativas
3	3:00	29,3	81,6	Não observaram-se alterações significativas
4	4:00	32,5	79,1	Não observaram-se alterações significativas
5	5:00	28,8	81,0	Não observaram-se alterações significativas
6	6:00	22,6	81,8	Não observaram-se alterações significativas
7	7:00	23,5	78,5	Não observaram-se alterações significativas
8	8:00	27,7	81,2	Não observaram-se alterações significativas
9	9:00	28,0	78,9	Não observaram-se alterações significativas
10	10:00	23,5	81,3	Não observaram-se alterações significativas

No Apêndice A são apresentadas as planilhas completas referentes aos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.

Assim como no modelo experimental PAR-JV-R1, após cada ciclo de ação do calor, observou-se que as maiores temperaturas registradas pela câmera térmica se encontravam na região da junta e em suas proximidades, conforme pode-se ver na Figura 87.

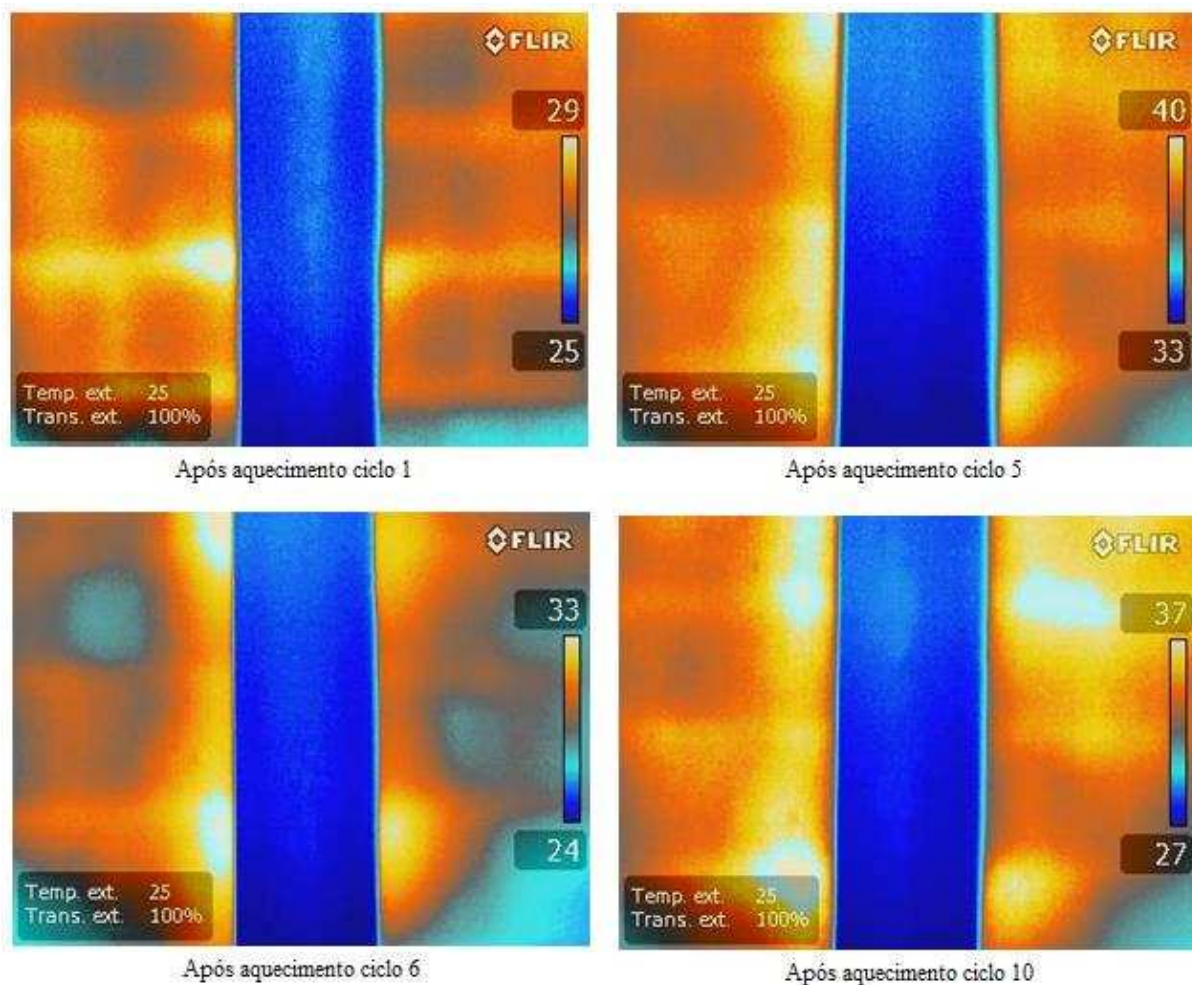
Figura 87 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental PAR-JV-R2, tratado com selante à base de poliuretano, após aquecimento.



Fonte: A autora, 2019.

Os valores absolutos de temperaturas na face do modelo variaram entre os ciclos, tanto para a face externa, quanto para a face interna do modelo experimental PAR-JV-R2, pelos mesmos motivos descritos para o modelo experimental PAR-JV-R1. Na Figura 88 é mostrada a distribuição de temperatura na face interna após o aquecimento de alguns ciclos para o modelo experimental PAR-JV-R2. Diferentemente do modelo experimental PAR-JV-R1, o modelo PAR-JV-R2 não apresentou regiões com temperaturas muito inferiores ao esperado após o aquecimento.

Figura 88 – Imagens térmicas do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental PAR-JV-R2, tratado com selante à base de poliuretano, após aquecimento.



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 89 é possível observar que para o modelo experimental PAR-JV-R2 não foram identificadas manchas aparentes de umidade em sua face interna, dentro da área de ensaio, após o término do décimo ciclo do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. As manchas de umidade que podem ser vistas na zona inferior do pilar encontram-se fora da área de ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.

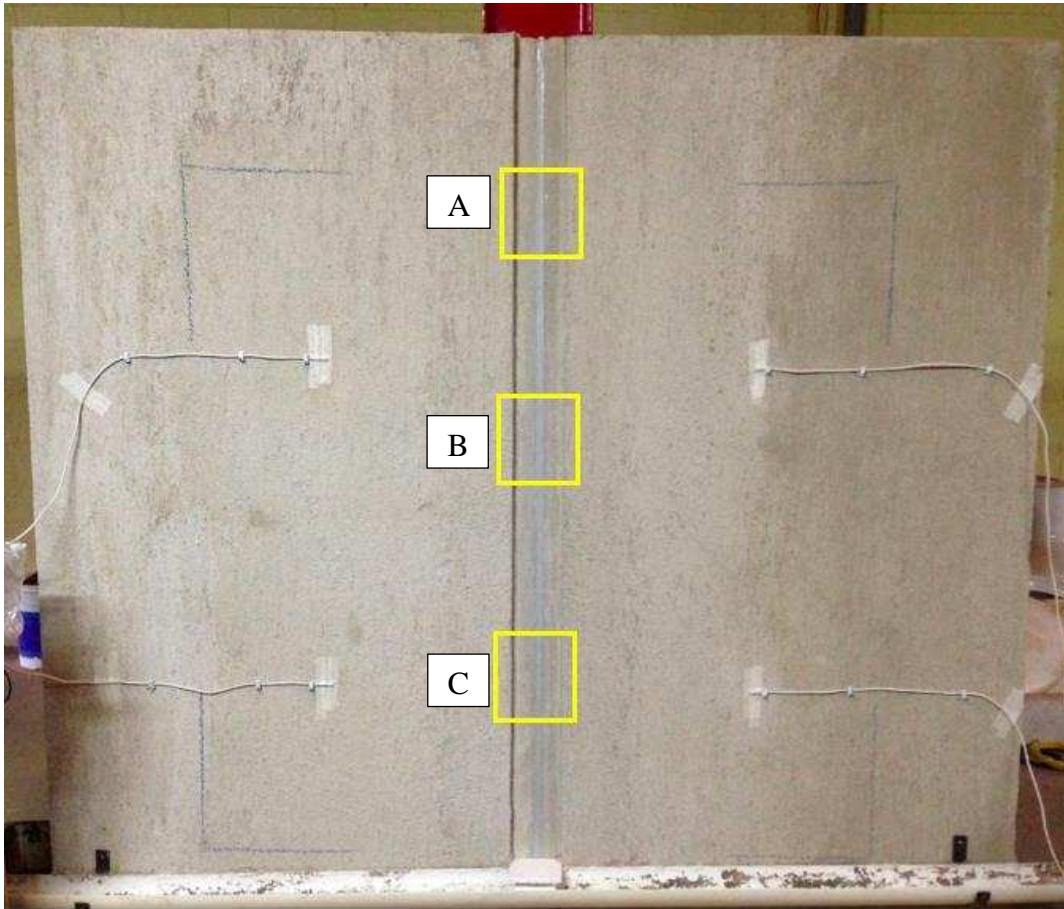
Figura 89 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R2 após o término do ciclo 10.



Fonte: A autora, 2019.

O mesmo comportamento com relação ao aparecimento/aumento de fissuras, deterioração e mudanças visuais no tratamento de impermeabilização utilizado foi observado no modelo experimental PAR-JV-R2 nas três regiões demarcadas (A, B e C) (Figura 90). Na Figura 91, na Figura 92 e na Figura 93 mostra-se o aspecto geral dessas regiões antes do início do ensaio e após o aquecimento do décimo ciclo, podendo-se observar que não foram identificadas mudanças na superfície.

Figura 90 – Modelo experimental PAR-JV-R2 antes do início dos ensaios.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 91 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2 na região A indicada.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 92 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2 na região B indicada.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 93 – Detalhe do selante após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2 na região C indicada.



Fonte: A autora, 2019.

c) Discussão

Segundo Ding e Liu (2006a, 2006b), o envelhecimento térmico tem um efeito proeminente que acelera a degradação das propriedades mecânicas do selante, enquanto a exposição aos raios ultravioleta (UV) acelera as mudanças na aparência do selante. Como no presente trabalho as juntas tratadas com selante à base de poliuretano não foram expostas aos raios UV, era esperado que não houvesse mudança significativa em sua aparência, o que foi observado. Não foi perceptível também um encolhimento do volume do selante, que manteve a mesma aparência do início ao fim do ensaio. O que foi observado também condiz com as conclusões de Ding e Liu (2006a, 2006b), que indicaram que um tempo de intemperismo acelerado capaz de induzir mudanças nas propriedades do selante é de pelo menos 5000 h, enquanto o ensaio realizado no presente trabalho teve duração de aproximadamente 24h.

Outro ponto a ressaltar é que a altura do modelo experimental facilitou a execução do tratamento da junta. Isto fez com que o tratamento com selante à base de poliuretano fosse muito bem executado, contribuindo para que não houvesse degradação perceptível após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.

Foi realizada também uma inspeção visual para avaliação das fissuras. Não foram observadas alterações significativas nas faces externa e interna ao longo dos ciclos de aquecimento e resfriamento dos exemplares. Na face externa dos exemplares foram observadas algumas fissuras na superfície da argamassa de revestimento antes do início do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Pela sua aparência, essas fissuras podem ser atribuídas a uma contração plástica da argamassa. Já na face interna dos exemplares, notou-se algumas fissuras horizontais que não eram nitidamente visíveis a olho nu, que possivelmente surgiram durante o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Pela sua aparência e localização, essas fissuras podem estar relacionadas com os grampos inseridos nas juntas horizontais da alvenaria.

A função dos grampos horizontais é a contenção lateral da parede. O diâmetro dos grampos deve ser pequeno para que o mesmo seja flexível. O princípio fundamental é que os eventuais deslocamentos da estrutura não devem ser transferidos para a alvenaria. Porém, com o aquecimento da face externa dos exemplares, o pilar de aço também acaba sendo aquecido e, conseqüentemente, sofre uma dilatação. Assim, se o diâmetro do grampo soldado ao pilar de

ação for grande, além de o mesmo não caber na junta, sua grande rigidez será capaz de transferir deslocamentos sofridos pela estrutura para a alvenaria, o que seria inadequado e, possivelmente, acarretaria fissuração.

Acredita-se que a fissuração horizontal na face interna dos exemplares se deu devido à rigidez dos grampos, permitindo uma passagem da água, o que provocou as manchas de umidade observadas na área de ensaio da face interna do modelo experimental PAR-JV-R1. No modelo experimental PAR-JV-R2, no qual também foram observadas manchas de umidade, as fissuras horizontais não foram observadas nas regiões onde as mesmas ocorreram.

4.2.2 Ensaio de estanqueidade à água

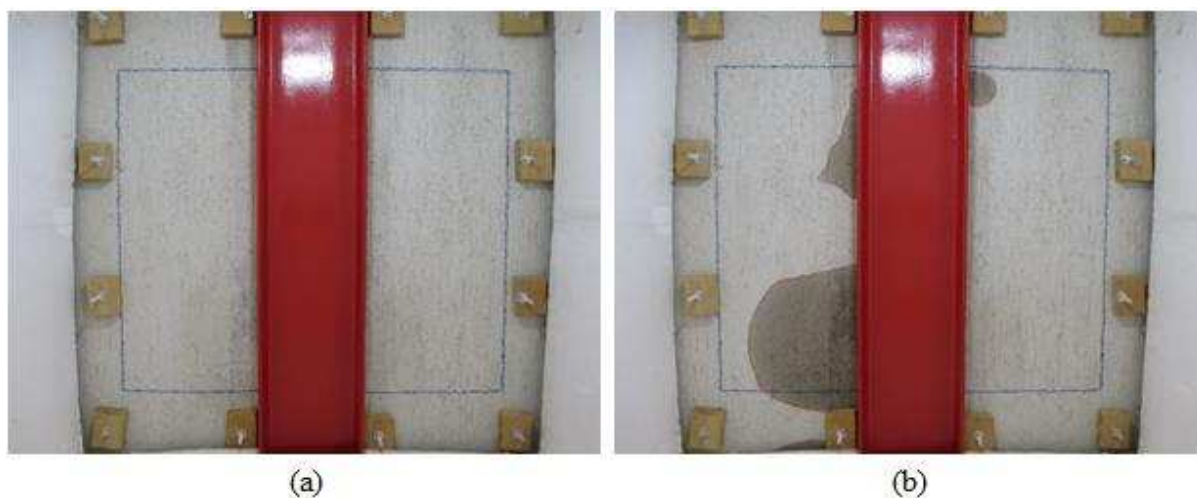
O ensaio de estanqueidade à água foi realizado conforme metodologia apresentada no item 3.5. Para cada um dos exemplares, foram anotados os valores de temperatura e umidade ambiente, e temperatura e umidade no interior da câmara de estanqueidade. Observou-se também o tempo para o qual apareceu a primeira mancha na face interna dos exemplares.

As planilhas completas referentes aos ensaios de estanqueidade são apresentadas no Apêndice B.

a) Modelo experimental PAR-JV-R1

O modelo experimental PAR-JV-R1 sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano, apresentou a primeira mancha de umidade na sua face interna com 1h45min de duração de ensaio. A face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 pode ser observada em dois momentos na Figura 94, antes do início do ensaio e após o seu término, com sete horas de duração.

Figura 94 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1:
a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.

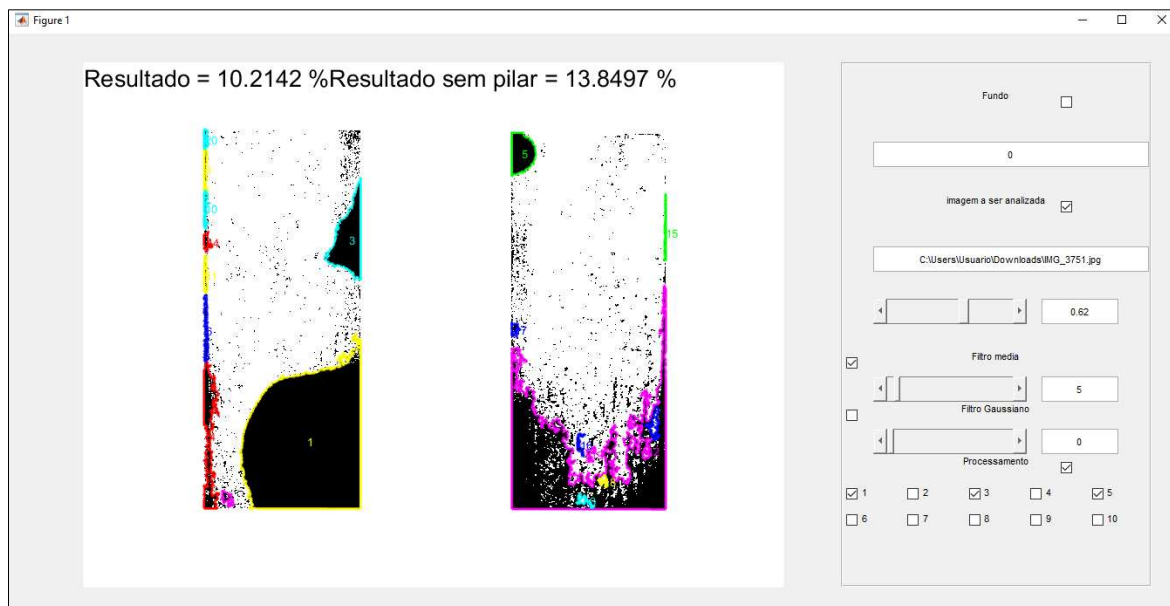


Fonte: A autora, 2019.

Com base na Figura 94, é possível notar que, ao fim do ensaio de estanqueidade à água, o exemplar apresentou manchas na região do encontro da alvenaria com a estrutura de aço. Pode-se observar que a mancha inferior na parte esquerda do pilar de aço se encontra no mesmo local no qual se verificou a mancha de umidade após os ciclos do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, realizados anteriormente. As manchas foram marcadas com giz de cor vermelha, para análise de porcentagem de área molhada em relação à área total ensaiada.

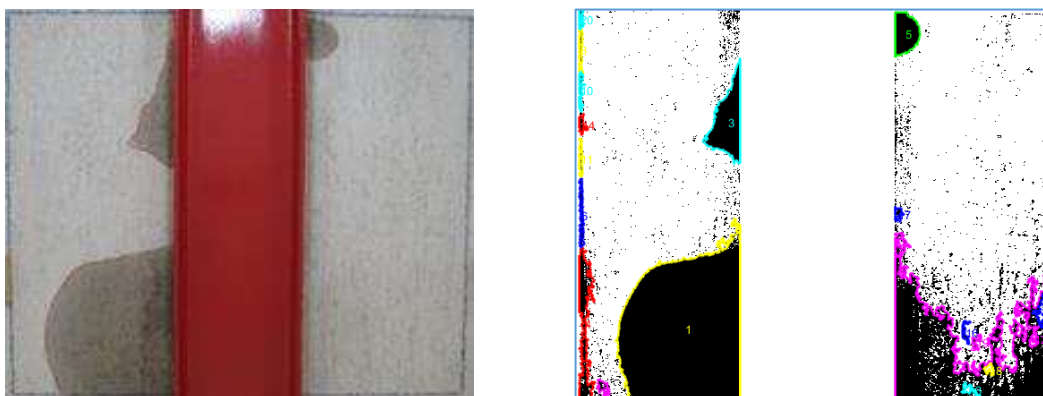
Neste caso, a área úmida na face interna representa cerca de 10,21% da área total de ensaio ou aproximadamente 13,85% da área de ensaio, desconsiderando-se a área de projeção do pilar de aço. Na Figura 95 mostra-se o resultado obtido com auxílio do programa computacional de processamento de imagens utilizado e a comparação entre a imagem real e a obtida pelo programa.

Figura 95 – Resultado da análise das manchas de umidade do modelo experimental PAR-JV-R1:
a) tela do programa computacional de processamento de imagens; b) comparação entre a imagem real e a obtida por meio do programa.



(a)

Resultado = 10.2142 %Resultado sem pilar = 13.8497 %



(b)

Fonte: A autora, 2019.

b) Modelo experimental PAR-JV-R2

O modelo experimental PAR-JV-R2, cuja junta também foi tratada com selante à base de poliuretano, apresentou a primeira mancha de umidade na sua face interna com 8h00min de duração de ensaio, que se estendeu até nove horas completas, para observar a expansão da mancha de umidade na área ensaiada, e ainda, o aparecimento de outras duas manchas. A face interna do modelo experimental PAR-JV-R2 pode ser observada antes do início do ensaio e após o seu término na Figura 96.

Figura 96 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R2:
a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.



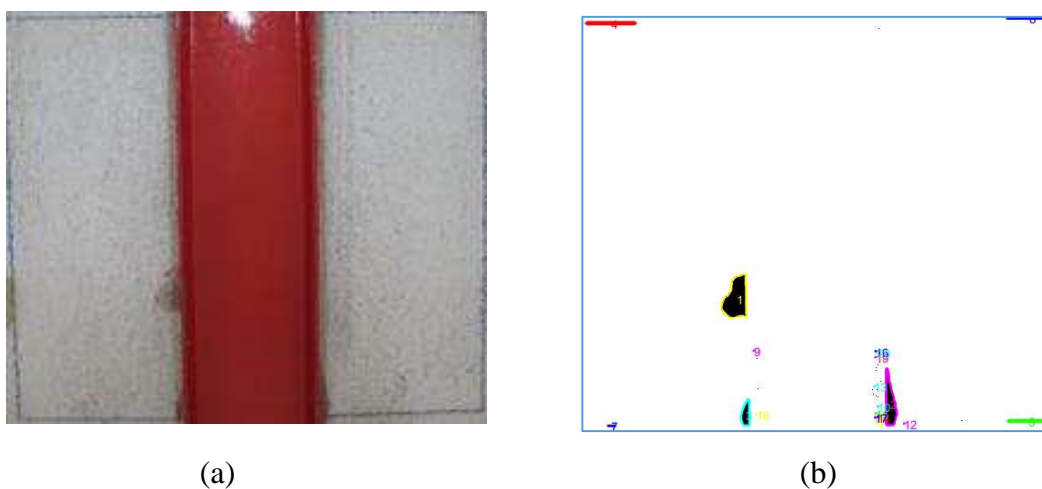
Fonte: A autora, 2019.

As três manchas de umidade que surgiram na face interna do modelo foram marcadas com giz vermelho para análise da porcentagem de área úmida em relação a área total ensaiada.

A área úmida na face interna representa aproximadamente 0,71% da área total de ensaio ou aproximadamente 0,96% da área de ensaio, desconsiderando-se a área de projeção do pilar de aço. Na Figura 97 mostra-se o resultado obtido com auxílio do programa computacional de processamento de imagens utilizado e a comparação entre a imagem real e a obtida pelo programa.

Figura 97 – Resultado da análise das manchas de umidade do modelo experimental PAR-JV-R2:
a) imagem da parede; b) imagem processada.

Resultado = 0.70825 % Resultado sem pilar = 0.96034 %



Fonte: A autora, 2019.

c) Discussão

Em função dos resultados obtidos, nota-se que nos dois exemplares do modelo experimental com junta tratada com selante à base de poliuretano houve o aparecimento de manchas de umidade na face oposta à ensaiada.

De acordo com a ABNT NBR 15575-4:2013, no ensaio de estanqueidade à água o percentual máximo de área úmida em relação à área ensaiada para edificações térreas é de 10% e para edificações com mais de um pavimento é de 5%. Os exemplares do modelo ensaiados no presente trabalho podem ser aplicados tanto a edificações térreas, quanto a edificações com mais de um pavimento.

Tendo em vista que a área de alvenaria que se encontra atrás do pilar de aço não ficou visível na face interna do modelo, para a avaliação do critério de estanqueidade à água de chuva será considerada a porcentagem de área úmida em relação à área visível do ensaio. Em função disso, nota-se que para o modelo experimental PAR-JV-R1 o valor de 13,85% está acima de ambos limites estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4:2013 e para o modelo experimental PAR-JV-R2 o valor de 0,96% atende a ambos limites.

Apesar de o modelo experimental PAR-JV-R1 não ter atendido aos limites prescritos pela ABNT NBR 15575-4:2013, é importante destacar que o local onde aparece a maior mancha de umidade, que se encontra à esquerda do pilar de aço na parte inferior da área de ensaio (Figura 94.b), é o mesmo no qual já havia aparecido a mancha de umidade no ensaio de exposição à ação de calor e choque térmico do mesmo exemplar (Figura 82). Além disso, verificou-se que no local onde surgiu a mancha de umidade superior à direita do pilar e a mancha de umidade inferior à esquerda do pilar (Figura 94.b) havia fissuras horizontais na face interna do modelo e, por isso, é provável que essas fissuras tenham permitido a passagem de água. Em função do exposto, entende-se que a passagem de água não se deu pela junta vertical tratada com selante à base de poliuretano e sim pelas fissuras já identificadas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.

Com base no que foi observado, chegou-se à conclusão de que seria mais adequado realizar a pintura da face externa do modelo experimental antes dos ensaios, de forma a impermeabilizar

a superfície da parede e não estar sujeito à influência de mais uma variável na análise, o que permitiria uma avaliação mais precisa da região da junta vertical.

4.3 Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

4.3.1 Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

O ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental com junta vertical tratada com com manta de elastômero EPDM foi realizado segundo metodologia apresentada no item 3.4.

Assim como nos ensaios descritos no item 4.2.1, as faces externa e interna dos dois exemplares do modelo experimental com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM apresentavam temperaturas quase homogêneas antes do início do primeiro aquecimento, em cada um dos dias de ensaio.

a) Modelo experimental PAR-JV-R1

Na Tabela 4 apresentam-se os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental PAR-JV-R1 sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM, com o registro das degradações observadas após cada ciclo de aquecimento e resfriamento.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental PAR-JV-R1 sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM.

Ciclo	Tempo do Ciclo (h)	Temperatura no Final do Ciclo (°C)		Degradações observadas
		Ambiente	Média na superfície	
Início	0	21,6	-	Fissuras na superfície da argamassa de revestimento
1	1:00	22,4	79,0	Não observaram-se alterações significativas
2	1:00	23,4	78,3	Não observaram-se alterações significativas
3	1:00	24,9	77,6	Não observaram-se alterações significativas
4	1:00	25,3	79,6	Não observaram-se alterações significativas
5	1:00	23,6	79,4	Não observaram-se alterações significativas
6	0:27	-	-	Não observaram-se alterações significativas
6	1:00	30,1	78,9	Não observaram-se alterações significativas
7	1:00	33,8	79,2	Não observaram-se alterações significativas
8	1:00	32,2	78,2	Não observaram-se alterações significativas
9	1:00	27,1	79,8	Não observaram-se alterações significativas
10	1:00	29,6	80,4	Não observaram-se alterações significativas

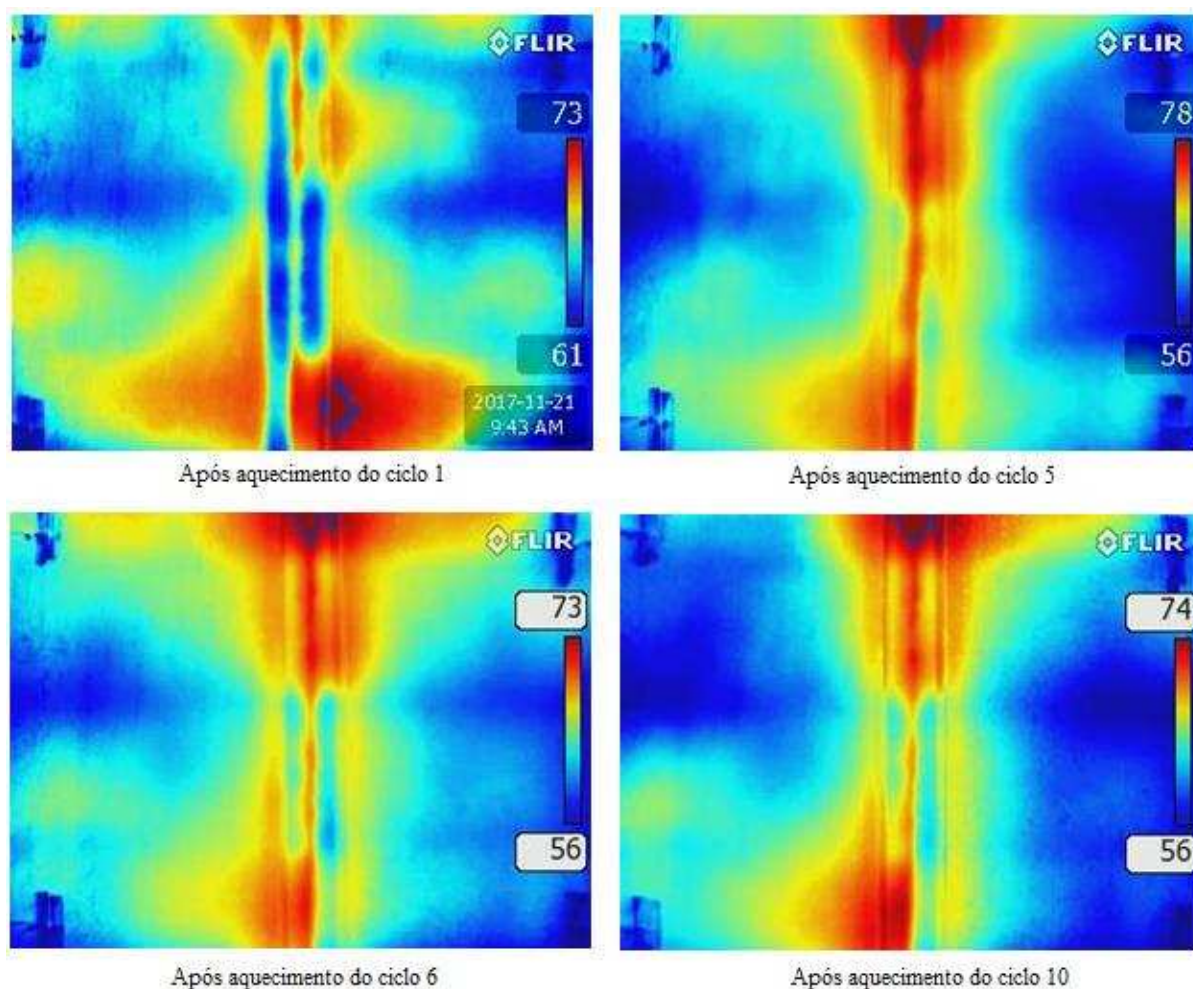
No Apêndice A são apresentadas as planilhas completas referentes aos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.

Durante a realização do sexto ciclo de aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1 houve uma queda de energia por cerca de duas horas. Após o reestabelecimento da energia, o tempo de aquecimento restante referente ao sexto ciclo começou a ser contabilizado a partir do momento em que todos os controladores de temperatura apresentaram valores maiores que 77°C.

Após o aquecimento do nono ciclo do modelo experimental PAR-JV-R1 ocorreu uma falha na fonte que ligava os controladores 1 e 3. Devido a isso, fez-se uso do termômetro infravermelho para averiguar a temperatura superficial da parede no momento do resfriamento, de forma a poder finalizar o nono ciclo. Deu-se continuidade ao ciclo 10 deste exemplar no dia seguinte, pela manhã.

Após cada ciclo de ação do calor, observou-se que as maiores temperaturas registradas pela câmera térmica no modelo experimental PAR-JV-R1 se encontravam próximas à região da junta, assim como nos modelos com junta tratada com selante à base de poliuretano, conforme pode-se ver na Figura 98.

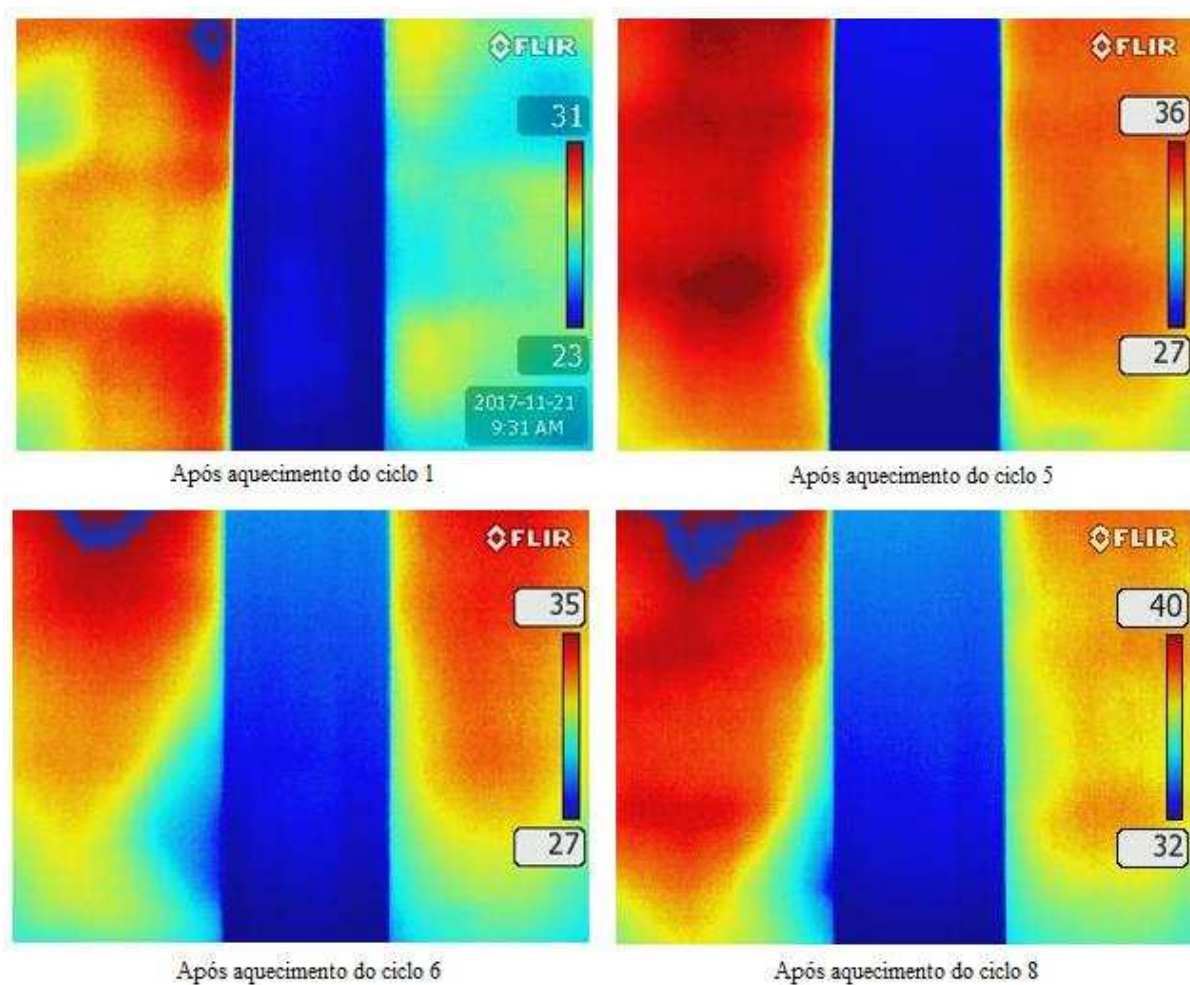
Figura 98 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental PAR-JV-R1, tratado com manta de elastômero EPDM, após aquecimento.



Fonte: A autora, 2019.

Assim como nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico nos modelos com junta tratada com selante à base de poliuretano, foi possível observar na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 uma região com temperatura inferior ao esperado após aquecimento do sexto e oitavo ciclos (Figura 99), na parte inferior à esquerda do perfil de aço, no mesmo local anteriormente identificado.

Figura 99 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1, tratado com manta de elastômero EPDM, após aquecimento.



Fonte: A autora, 2019.

A região com temperatura abaixo do esperado apresentou mancha de umidade aparente na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1, como pode-se observar na Figura 100.

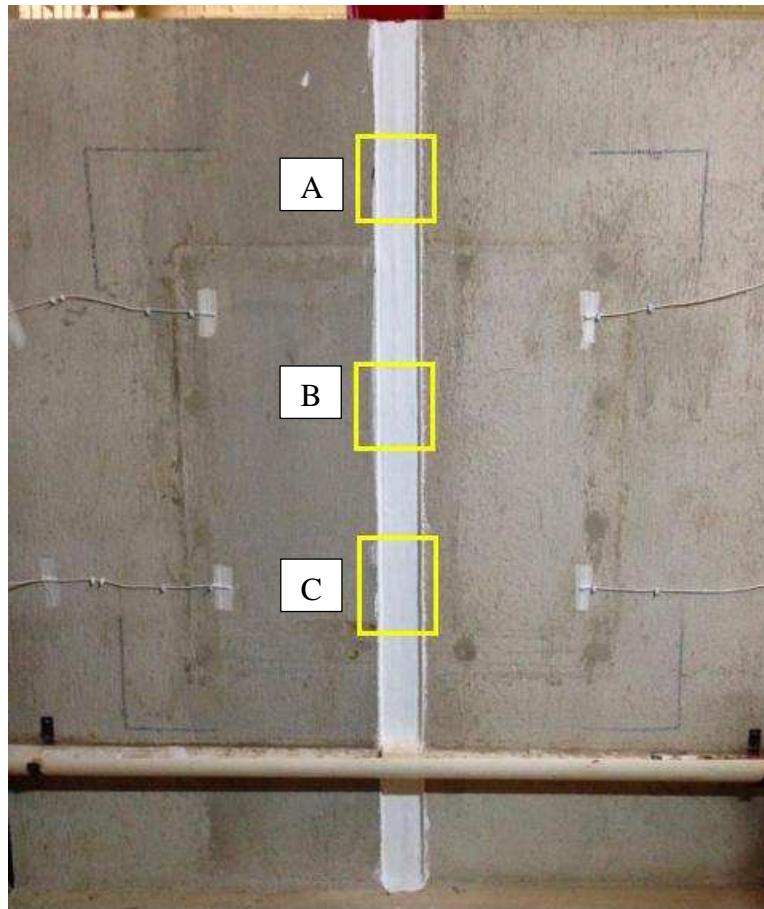
Figura 100 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 após o término do ciclo 8.



Fonte: A autora, 2019.

Assim como na análise dos modelos com junta tratada com selante à base de poliuretano (item 4.2.1), foram escolhidas três regiões, denominadas A, B e C, para uma avaliação detalhada da deterioração e das mudanças visuais no modelo experimental com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM. Essas regiões foram demarcadas e mostradas na Figura 101.

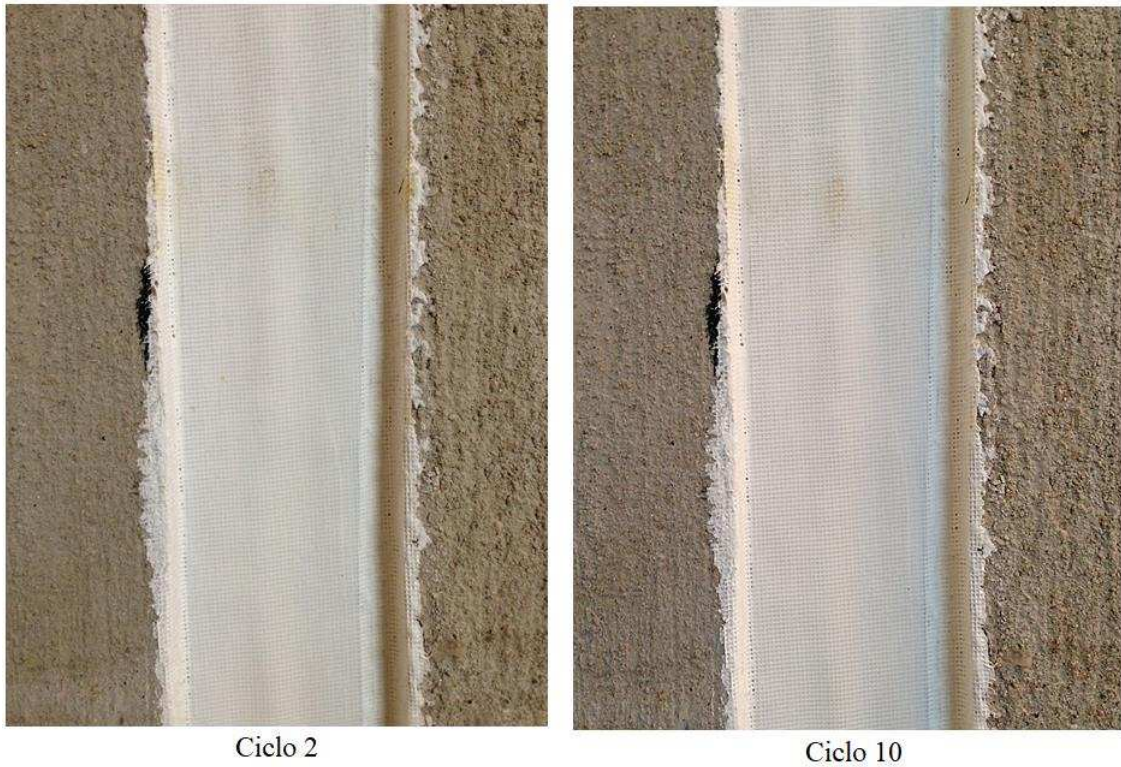
Figura 101 – Modelo experimental PAR-JV-R1 antes do início dos ensaios.



Fonte: A autora, 2019.

O aspecto geral das regiões demarcadas para análise pode ser visto na Figura 102, na Figura 103 e na Figura 104, para as regiões A, B e C, respectivamente. Da mesma maneira que nos modelos com junta tratada com selante, não houve mudanças consideráveis na aparência da manta de elastômero EPDM no modelo experimental PAR-JV-R1, assim como em sua textura e cor, após aquecimento nos ciclos indicados.

Figura 102 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1, na região A indicada.



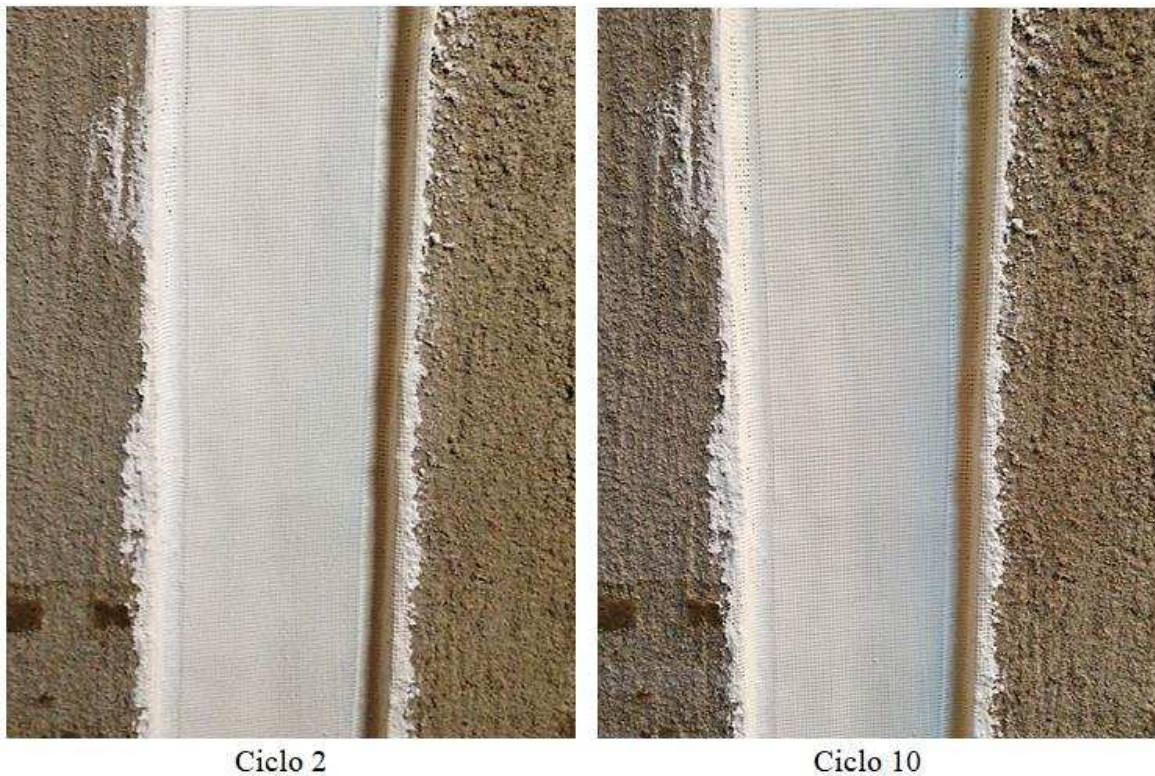
Fonte: A autora, 2019.

Figura 103 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1, na região B indicada.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 104 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R1, na região C indicada.



Fonte: A autora, 2019.

b) Modelo experimental PAR-JV-R2

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental PAR-JV-R2 sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM, com o registro das degradações observadas após cada ciclo de aquecimento e resfriamento.

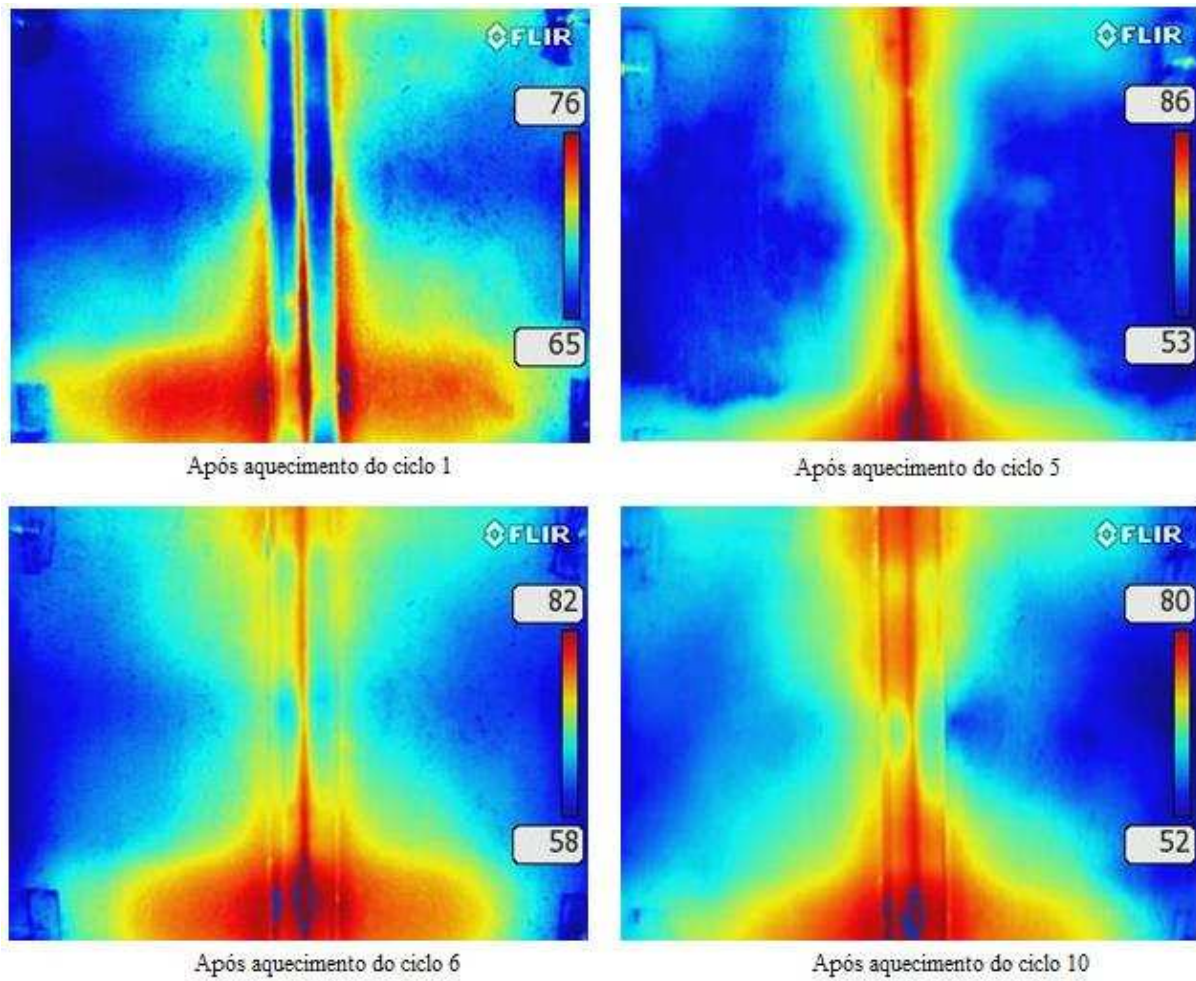
Tabela 5 – Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para o modelo experimental PAR-JV-R2 sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM.

Ciclo	Tempo decorrido de ciclos (h)	Temperatura (°C)		Degradações observadas
		Ambiente	Média na superfície	
Início	0	32,6	-	Fissuras na superfície da argamassa de revestimento
1	1:00	34,5	81,6	Não observaram-se alterações significativas
2	2:00	32,2	80,7	Não observaram-se alterações significativas
3	3:00	28,0	79,3	Não observaram-se alterações significativas
4	4:00	25,2	78,4	Não observaram-se alterações significativas
5	5:00	23,6	82,0	Não observaram-se alterações significativas
6	6:00	22,2	78,4	Não observaram-se alterações significativas
7	7:00	23,5	80,2	Não observaram-se alterações significativas
8	8:00	26,5	78,0	Não observaram-se alterações significativas
9	9:00	23,9	78,5	Não observaram-se alterações significativas
10	10:00	22,7	78,1	Não observaram-se alterações significativas

No Apêndice A são apresentadas as planilhas completas referentes aos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.

Assim como no modelo experimental PAR-JV-R1, após cada ciclo de ação do calor observou-se que as maiores temperaturas registradas pela câmera térmica se encontravam na região da junta e em suas proximidades, o que também foi observado nos modelos com junta tratadas com selante à base de poliuretano, conforme pode-se ver na Figura 105.

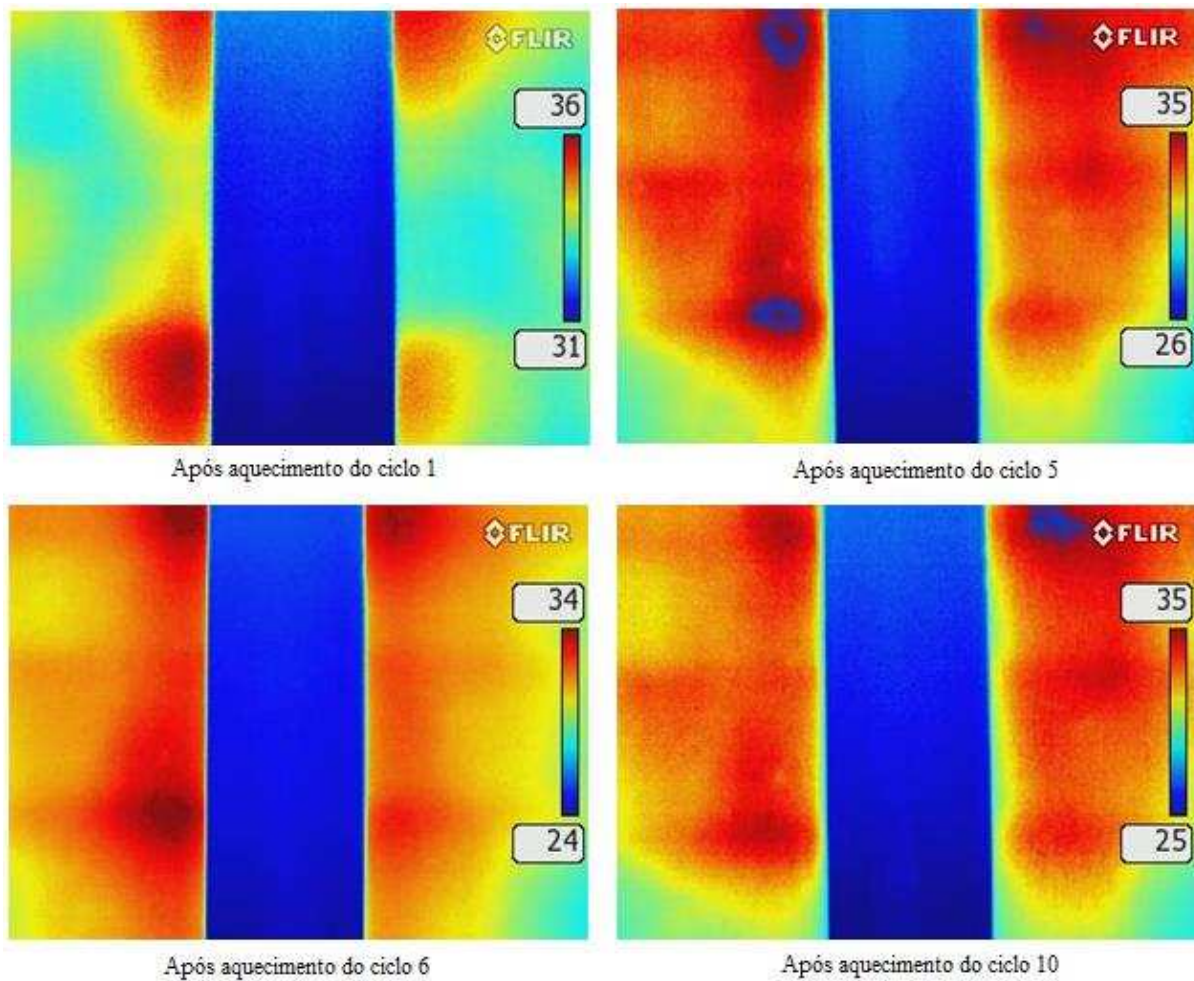
Figura 105 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental PAR-JV-R2, tratado com manta de elastômero EPDM, após aquecimento.



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 106 mostra-se a distribuição de temperatura na face interna do modelo experimental PAR-JV-R2, após o aquecimento de alguns ciclos.

Figura 106 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental PAR-JV-R2, tratado com manta de elastômero EPDM, após aquecimento.



Fonte: A autora, 2019.

Observou-se que no modelo experimental PAR-JV-R2, assim como no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico para este mesmo exemplar com junta tratada com selante à base de poliuretano, não foram identificadas manchas aparentes de umidade em sua face interna, dentro da área de ensaio, conforme pode-se observar na Figura 107.

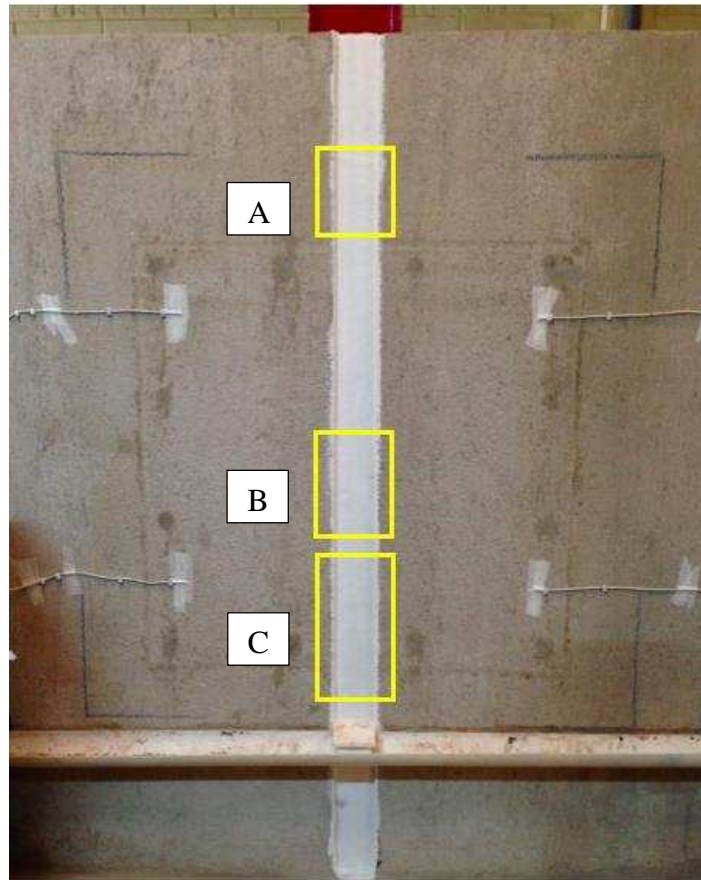
Figura 107 – Face interna modelo experimental PAR-JV-R2 após o término do ciclo 10.



Fonte: A autora, 2019.

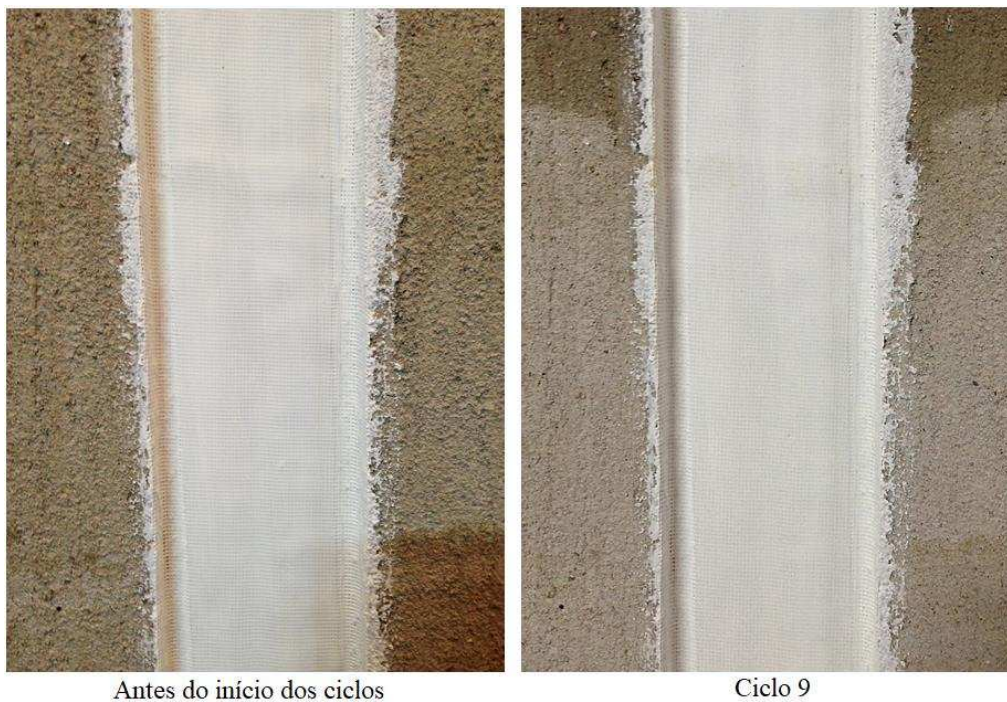
De maneira semelhante ao que foi feito para os modelos anteriores, foram identificadas as regiões A, B e C, mostradas na Figura 108. O aspecto geral dessas regiões após a realização do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico pode ser visto na Figura 109, na Figura 110 e na Figura 111, para as regiões A, B e C, respectivamente. Da mesma maneira que nos modelos com junta tratada com selante à base de poliuretano e no modelo experimental PAR-JV-R1 tratado com manta de elastômero EPDM, não houve mudanças consideráveis na aparência da manta de elastômero EPDM no modelo experimental PAR-JV-R2, assim como em sua textura e cor, após aquecimento nos ciclos indicados.

Figura 108 – Modelo experimental PAR-JV-R 2 antes do início dos ensaios.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 109 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2, na região A indicada.

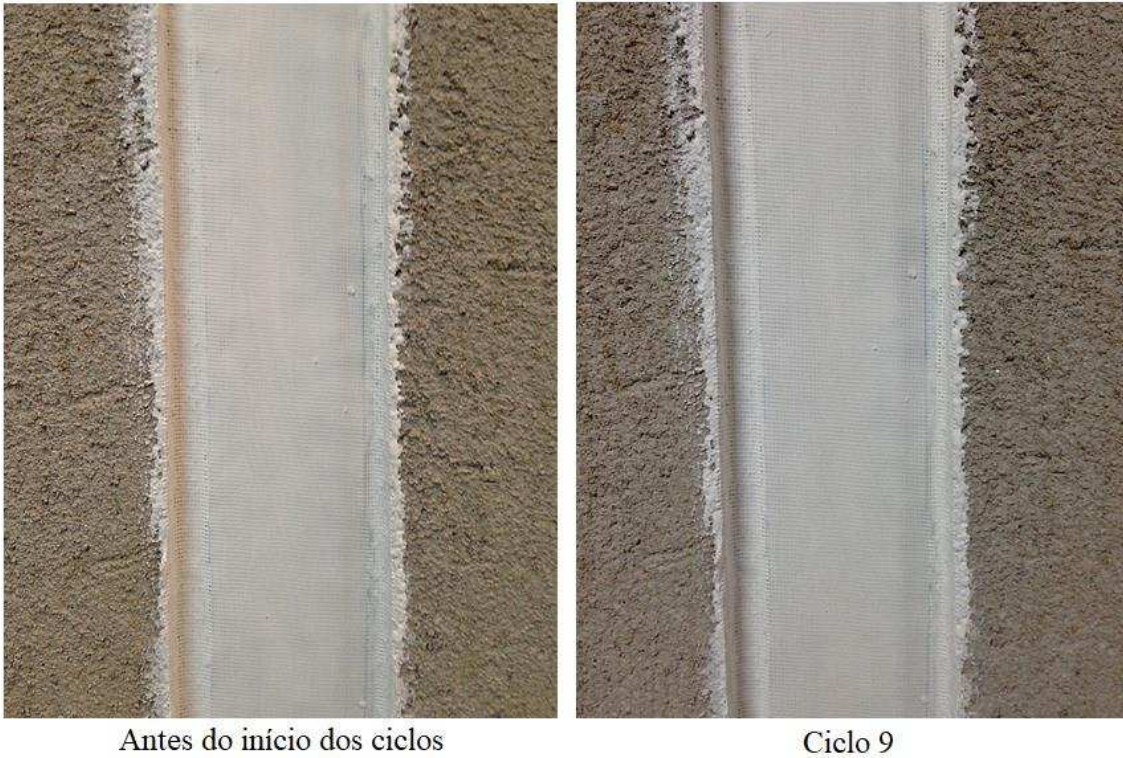


Antes do início dos ciclos

Ciclo 9

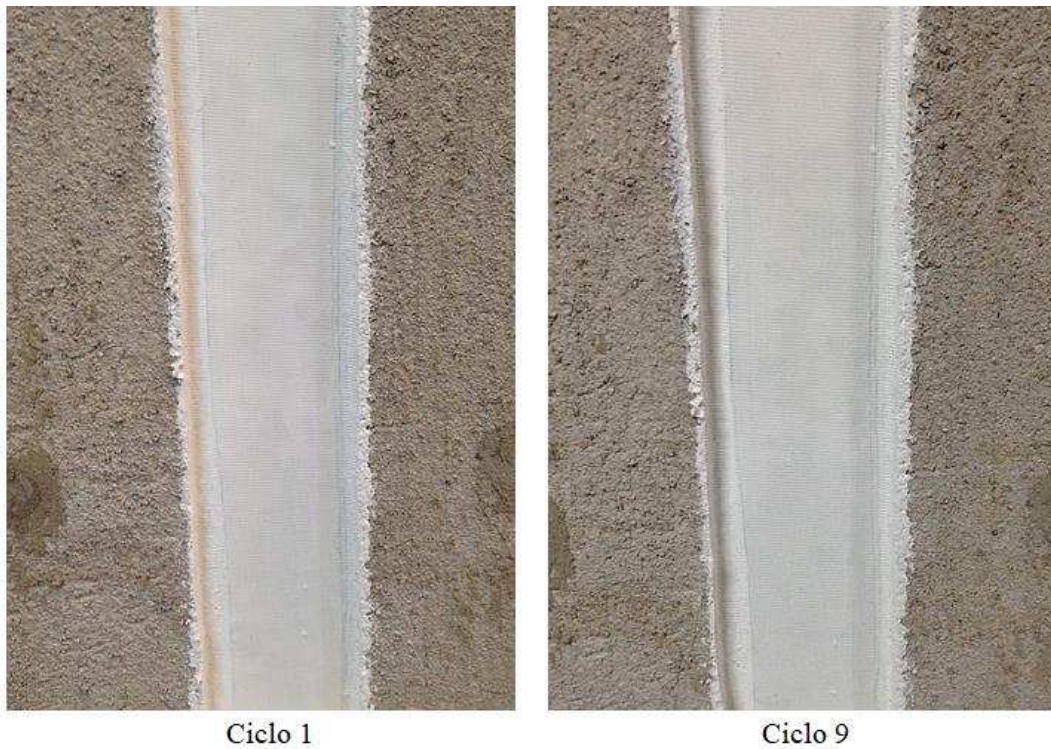
Fonte: A autora, 2019.

Figura 110 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2, na região B indicada.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 111 – Detalhe do tratamento com manta de elastômero EPDM após aquecimento do modelo experimental PAR-JV-R2, na região C indicada.



Fonte: A autora, 2019.

c) Discussão

As distribuições de temperatura na face externa dos modelos (Figura 98 e Figura 105) revelam um comportamento semelhante para os vários ciclos de aquecimento e resfriamento de um mesmo ensaio e para os dois exemplares do modelo experimental. De acordo com esses resultados, verificou-se que as maiores temperaturas se encontravam próximas à região da junta. Deve-se destacar também que foi identificada uma região com temperatura inferior ao esperado na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 (Figura 99).

Para os modelos experimentais sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM, observou-se que não ocorreram mudanças visuais relevantes no tratamento de impermeabilização da junta após o término dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico (Figura 101 e Figura 108).

Por meio de uma inspeção visual observou-se também que as fissuras na superfície da parede não apresentaram significativas mudanças nas faces externa e interna ao longo dos ciclos de aquecimento e resfriamento para os dois exemplares.

A mancha de umidade detectada dentro da área de ensaio na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 com junta tratada com manta de elastômero EPDM provavelmente se deu pelo mesmo motivo causador da mancha de água detectada na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 com junta tratada com selante à base de poliuretano, já que ambas as manchas de umidade se deram no mesmo local. Acredita-se que essa mancha de umidade pode ter sido causada pela passagem de água através de fissuras já identificadas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e não pela junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM.

4.3.2 Ensaio de estanqueidade à água

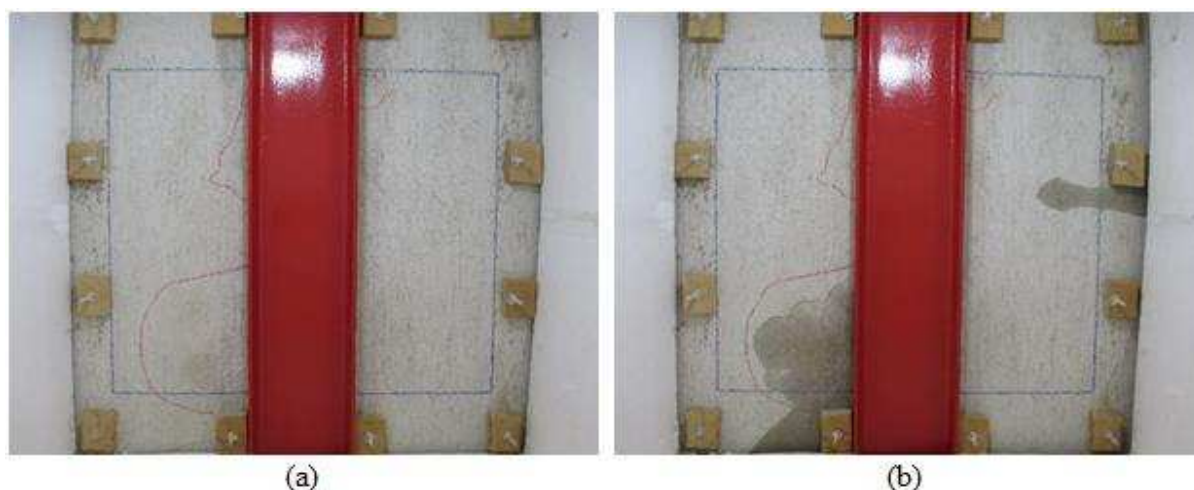
O ensaio de estanqueidade à água foi realizado conforme metodologia apresentada no item 3.5. Para cada um dos exemplares foram realizados registros de informações do ensaio de forma semelhante ao que foi apresentado no item 4.2.2.

As planilhas completas referentes aos ensaios de estanqueidade são apresentadas no Apêndice B.

a) Modelo experimental PAR-JV-R1

O modelo experimental PAR-JV-R1 sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM, apresentou a primeira mancha de umidade na sua face interna com 2h45min de duração de ensaio, que teve duração total de sete horas. A face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 pode ser observada antes do início do ensaio e após seu término na Figura 112.

Figura 112 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1:
a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.

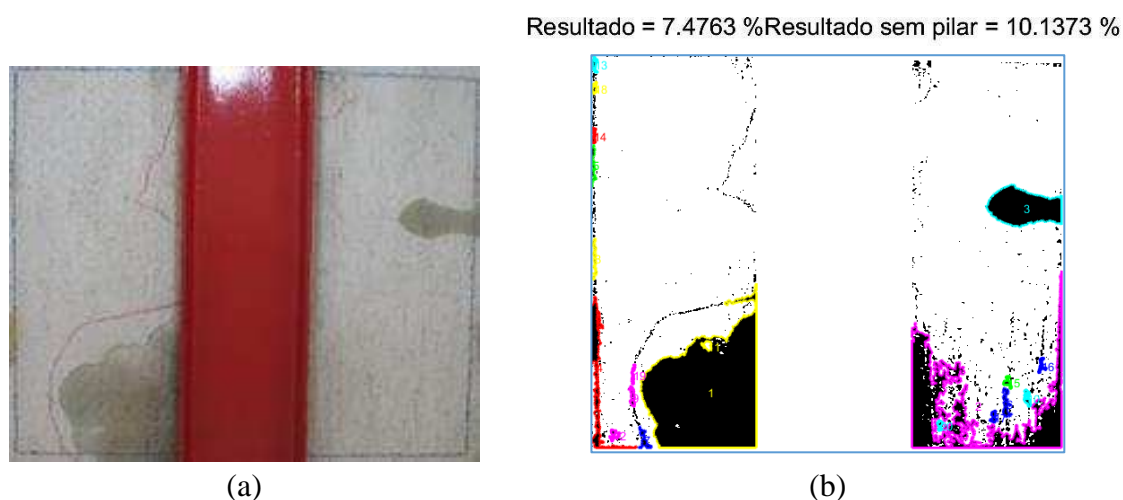


Fonte: A autora, 2019.

As regiões de umidade na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM, foram demarcadas com giz verde (Figura 112). Pode-se observar que a posição e abrangência das manchas que surgiram para este modelo praticamente coincidem com as que surgiram para o modelo com junta tratada com selante à base de poliuretano (demarcadas com giz vermelho).

Neste caso, a área úmida na face interna representa cerca de 7,48% da área total de ensaio ou aproximadamente 10,14% da área de ensaio, desconsiderando-se a área de projeção do pilar de aço. Esses valores são inferiores aos observados para o mesmo modelo experimental com junta tratada com selante à base de poliuretano. Na Figura 113 mostra-se o resultado obtido com auxílio do programa computacional de processamento de imagens utilizado e a comparação entre a imagem real e a obtida pelo programa.

Figura 113 – Resultado da análise das manchas de umidade do modelo experimental PAR-JV-R1:
a) imagem da parede; b) imagem processada.

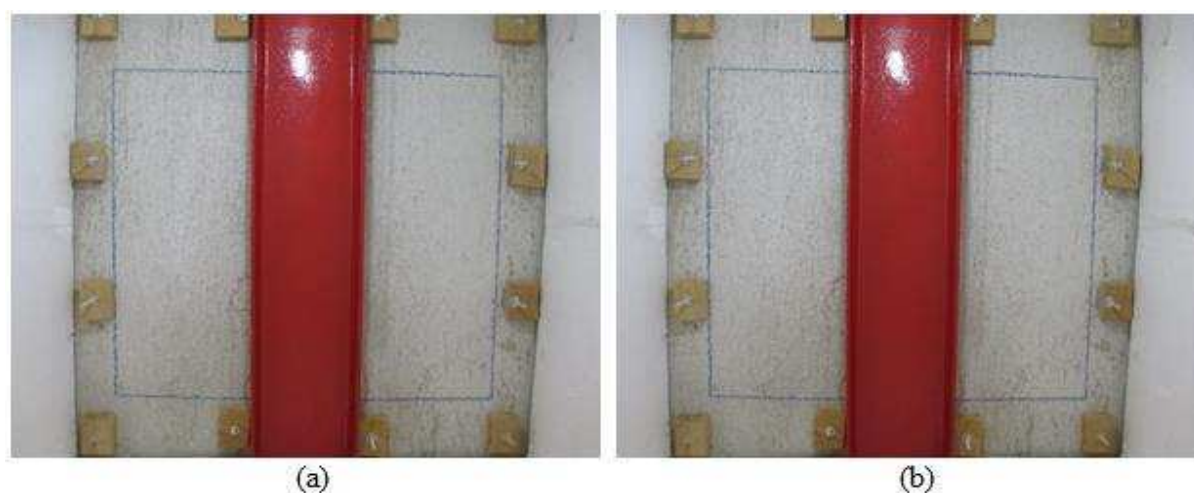


Fonte: A autora, 2019.

b) Modelo experimental PAR-JV-R2

O modelo experimental PAR-JV-R2, cuja junta também foi tratada com selante à base de poliuretano, não apresentou manchas de umidade na sua face interna durante as oito horas de ensaio. A face interna do modelo experimental PAR-JV-R2 pode ser observada antes do início do ensaio e após o seu término na Figura 114.

Figura 114 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R2:
a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.



Fonte: A autora, 2019.

Não havendo manchas de umidade na face interna do exemplar, a porcentagem de área úmida em relação a área total ensaiada foi de 0%.

c) Discussão

Em função dos resultados obtidos, nota-se que apenas no modelo experimental PAR-JV-R1 com junta tratada com manta de elastômero EPDM houve o aparecimento de manchas de umidade na face oposta à ensaiada.

Da mesma forma que nos ensaios de estanqueidade dos exemplares tratados com selante à base de poliuretano, para avaliação do critério de estanqueidade à água de chuva será também considerada a porcentagem de área úmida em relação à área visível do ensaio. Em função disso, nota-se que para o modelo experimental PAR-JV-R1 o valor de 10,14% está ligeiramente acima de ambos limites estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4:2013, ao passo que para o modelo experimental PAR-JV-R2 esse critério é atendido, já que não foi identificada área úmida.

Como já comentado anteriormente, acredita-se que a passagem de água responsável pelo surgimento da maior mancha de umidade do modelo experimental PAR-JV-R1 (Figura 112.b) possa ter se dado através de fissuras já identificadas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e não pela junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM. A maior mancha de umidade identificada no modelo PAR-JV-R1 apareceu sempre no mesmo local durante os ensaios de exposição à ação de calor e choque térmico e de estanqueidade à água, para ambos os tratamentos de junta (com selante à base de poliuretano e com manta de elastômero EPDM).

Foi possível notar também que a área dessa maior mancha de umidade foi ligeiramente inferior à da mancha de umidade que surgiu durante o ensaio de estanqueidade no modelo PAR-JV-R1 com junta tratada com selante à base de poliuretano. Acredita-se que como a manta de elastômero EPDM e a tela de poliéster se estendem além da posição do selante, tenha ocorrido uma menor passagem de água com relação ao ensaio de estanqueidade no modelo com junta tratada com selante.

Em função disso, neste caso também fica evidenciada a importância de realizar a pintura da face externa do modelo experimental antes dos ensaios, de forma a permitir uma avaliação mais precisa da região da junta vertical.

Pode-se afirmar também que a mancha de umidade identificada à direita da área de ensaio na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 (Figura 112.b) não tem relação com a junta vertical, apesar de que essa área úmida também foi computada para efeitos de comparação com o limite estabelecido por norma.

4.4 Modelo com pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Foram realizados outros dois ensaios de estanqueidade nos dois exemplares do modelo experimental tratados com a manta de elastômero EPDM e pintados com tinta acrílica, de forma a impermeabilizar a argamassa, com o intuito de não permitir a penetração de água nesta área.

Conforme descrito na metodologia, o ensaio de estanqueidade à água seguiu em conformidade com as etapas adotadas. Para cada um dos exemplares, foram anotados os valores de temperatura e umidade ambiente, e temperatura e umidade no interior da câmara de estanqueidade. As planilhas com os referentes valores se encontram no Apêndice B, no fim do trabalho.

Verificou-se que os resultados alcançados com o ensaio de estanqueidade à água no modelo experimental PAR-JV-R1 tratados com a manta de elastômero EPDM não permitiram avaliar a eficácia da impermeabilização, se a passagem de água se deu pela junta ou se devido à fissuração. Como os resultados obtidos nos ensaios de estanqueidade à água com a manta de elastômero EPDM não foram semelhantes entre os exemplares, é de grande interesse avaliar com mais precisão a passagem de água, caso esta venha a ocorrer, após a pintura da alvenaria com tinta acrílica.

4.4.1 Ensaio de estanqueidade à água

a) Modelo experimental PAR-JV-R1

O modelo experimental PAR-JV-R1 tratado com a manta de elastômero EPDM e com a alvenaria pintada com tinta acrílica não apresentou mancha de umidade dentro da área de ensaio até o término deste, o qual teve duração total de oito horas. A vista da face interna do exemplar pode ser vista antes do início e após o término do ensaio na Figura 115.

Figura 115 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1:
a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.



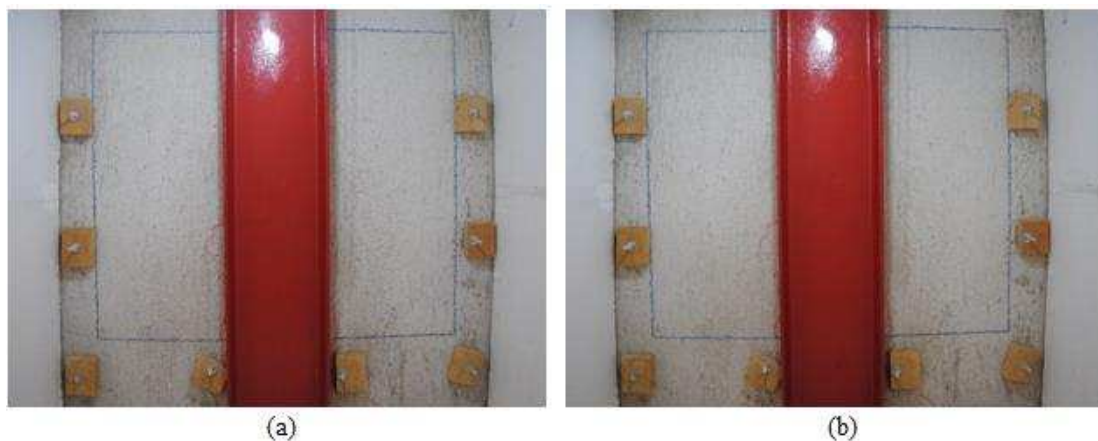
Fonte: A autora, 2019.

Não havendo mancha de umidade na face interna do exemplar, conclui-se que a porcentagem de área molhada em relação a área total ensaiada foi de 0%.

b) Modelo experimental PAR-JV-R2

O modelo experimental PAR-JV-R2 tratado com a manta de elastômero EPDM e com a alvenaria pintada com tinta acrílica não apresentou mancha de umidade ao término do ensaio de estanqueidade à água, o qual teve duração de oito horas, assim como no ensaio em que a alvenaria não estava pintada. Isso pode ser verificado na Figura 116.

Figura 116 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R2:
a) antes do início do ensaio; b) após o término do ensaio.



Fonte: A autora, 2019.

Como a área de ensaio não apresentou manchas de umidade, conclui-se que a porcentagem de área molhada em relação a área total ensaiada foi de 0%.

c) Discussão

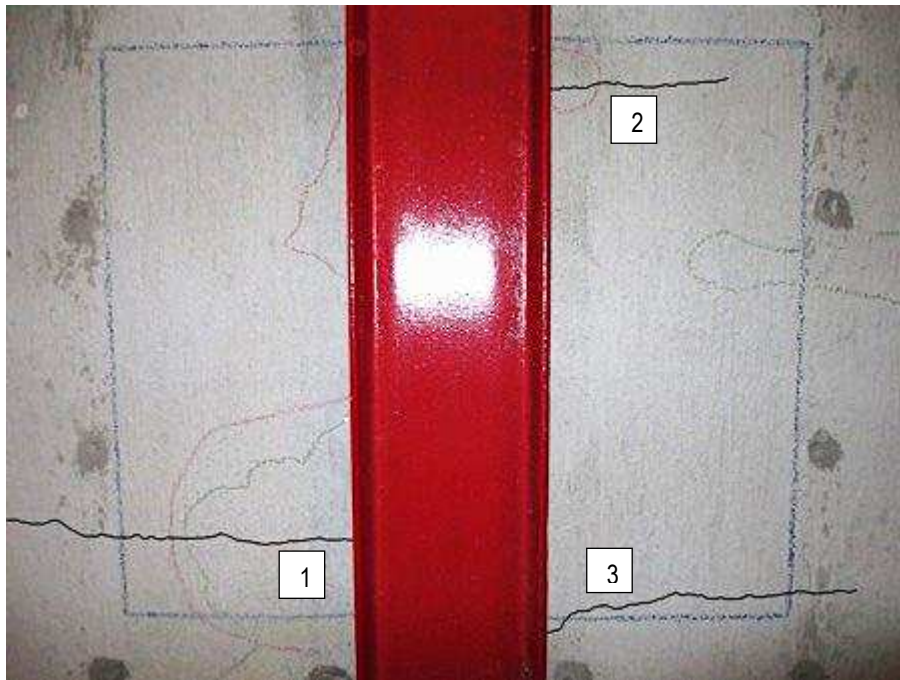
Em função dos resultados obtidos, nota-se que para os exemplares do modelo experimental com a face externa pintada com tinta acrílica e com junta tratada com manta de elastômero EPDM não houve surgimento de manchas de umidade na face interna. Dessa forma, pode-se afirmar que a tinta acrílica aplicada sobre a superfície externa do modelo experimental foi capaz de selar as fissuras horizontais que surgiram na alvenaria. Isto impediu a passagem da água que provocou as manchas de umidade quando a parede ainda não havia sido pintada, conferiu estanqueidade ao modelo e permitiu uma melhor avaliação da região da junta vertical.

O não aparecimento de manchas de umidade nos exemplares com face externa pintada com tinta acrílica, após o ensaio de estanqueidade à água, confirma que o tratamento da junta vertical com manta de elastômero EPDM apresentou bom desempenho quanto à estanqueidade.

4.5 Avaliação da fissuração no modelo experimental

Em função do aparecimento de manchas de umidade na face interna dos exemplares durante os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e de estanqueidade à água, decidiu-se fazer uma investigação sobre a influência das fissuras horizontais no surgimento dessas manchas. Essas fissuras foram destacadas na Figura 117.

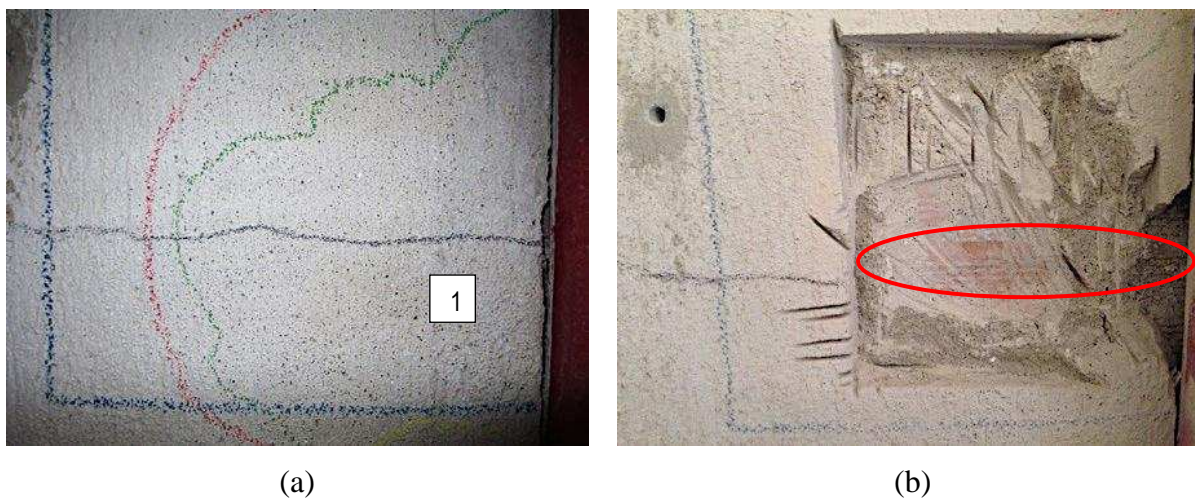
Figura 117 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 com identificação das regiões onde apareceram as manchas de umidade e destaque para as fissuras horizontais.



Fonte: A autora, 2019.

A fim de avaliar a extensão da fissura 1 (Figura 117) e se o bloco cerâmico também sofreu fissuração no local onde surgiu a maior mancha de umidade durante os ensaios realizados (Figura 118.a), foi executado um corte na argamassa de revestimento da face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 (Figura 118.b).

Figura 118 – Face interna do modelo experimental PAR-JV-R1: a) fissura horizontal 1 na região da maior mancha de umidade na área de ensaio; b) corte na argamassa de revestimento na região citada.



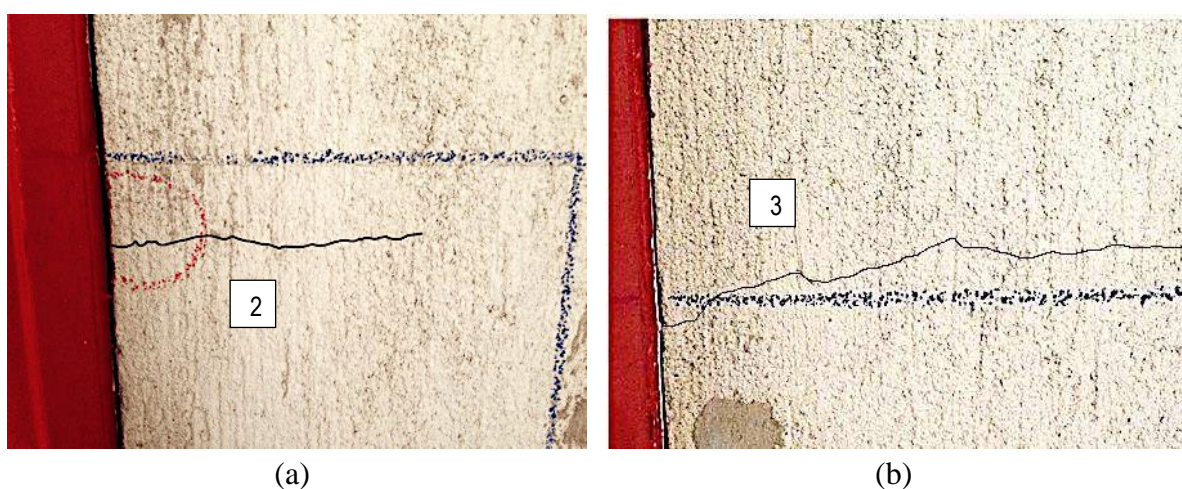
Fonte: A autora, 2019.

No local onde o bloco cerâmico foi exposto (Figura 118.b), foi identificada uma fissura horizontal no bloco, na mesma posição da fissura horizontal 1 na argamassa de revestimento,

sob a maior mancha de umidade da face interna. Conforme inspeção realizada no modelo, existem indícios de que a fissura horizontal identificada se estendia até a região da junta vertical.

Além disso, foi possível notar que outras fissuras horizontais semelhantes à citada anteriormente (fissuras 2 e 3 da Figura 117), haviam surgido na face interna do modelo experimental PAR-JV-R1, dentro da área do ensaio de estanqueidade. Essas fissuras foram identificadas e destacadas na Figura 119 para uma melhor visualização.

Figura 119 – Fissuras horizontais dentro da área do ensaio de estanqueidade na face interna no modelo experimental PAR-JV-R1: a) fissura horizontal 2; b) fissura horizontal 3.

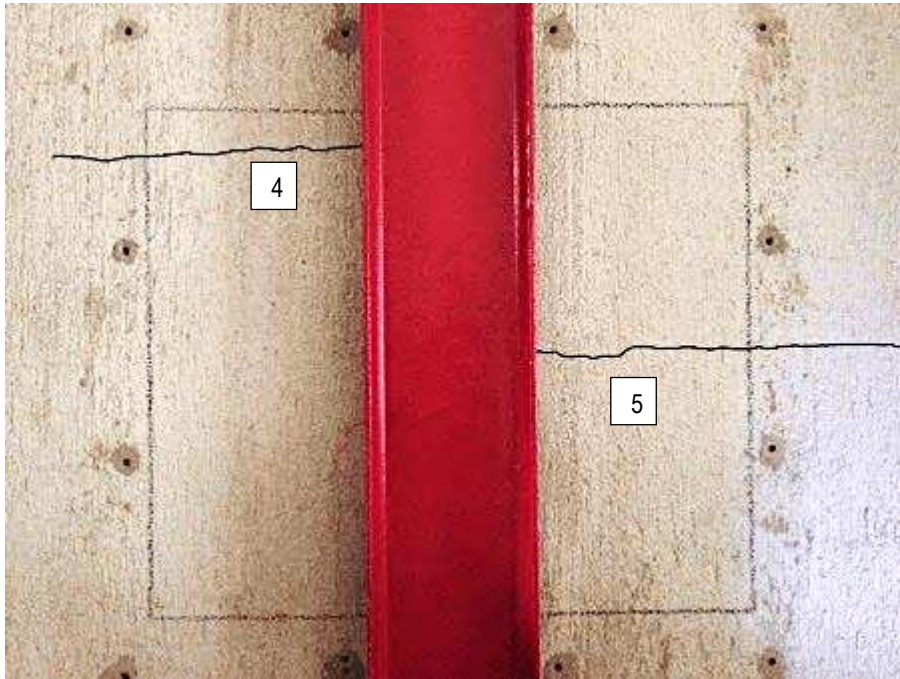


Fonte: A autora, 2019.

É importante ressaltar que as fissuras horizontais 2 e 3 da Figura 119 não eram visíveis a olho nu após o término de todos ensaios e só puderam ser identificadas com auxílio de imagens fotográficas capturadas durante a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Isto é uma evidência de que as fissuras horizontais 2 e 3 surgiram e se expandiram durante a realização do referido ensaio e praticamente se fecharam após o término do mesmo.

O modelo PAR-JV-R2 também apresentou fissuras horizontais em sua face interna. Essas fissuras foram identificadas e destacadas na Figura 120 para uma melhor visualização. Apesar das fissuras 4 e 5 estarem visíveis a olho nu após o término dos ensaios, não foram detectadas manchas de umidade em suas regiões na face interna do modelo durante os ensaios.

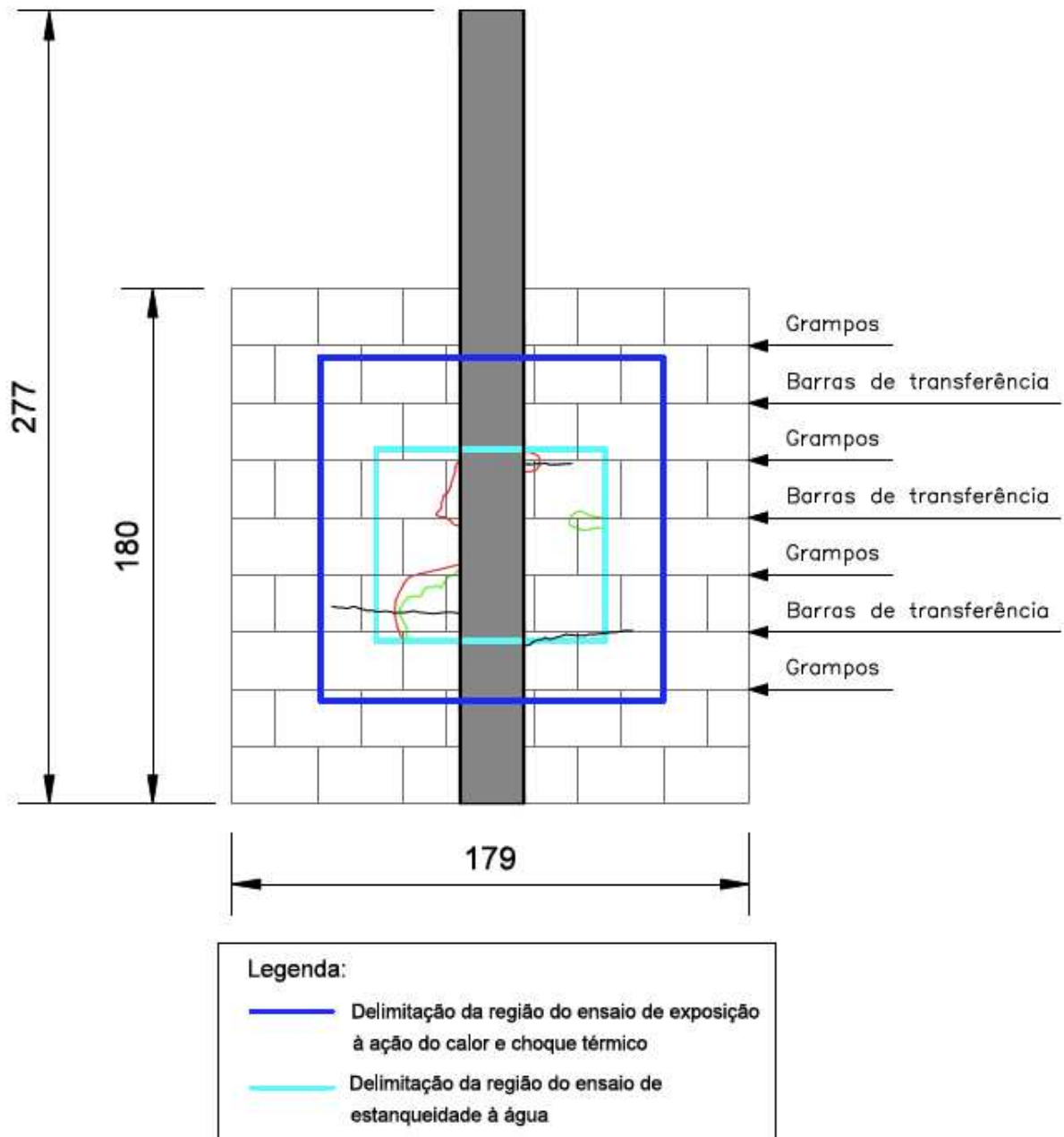
Figura 120 – Fissuras horizontais na face interna do modelo PAR-JV-R2.



Fonte: A autora, 2019.

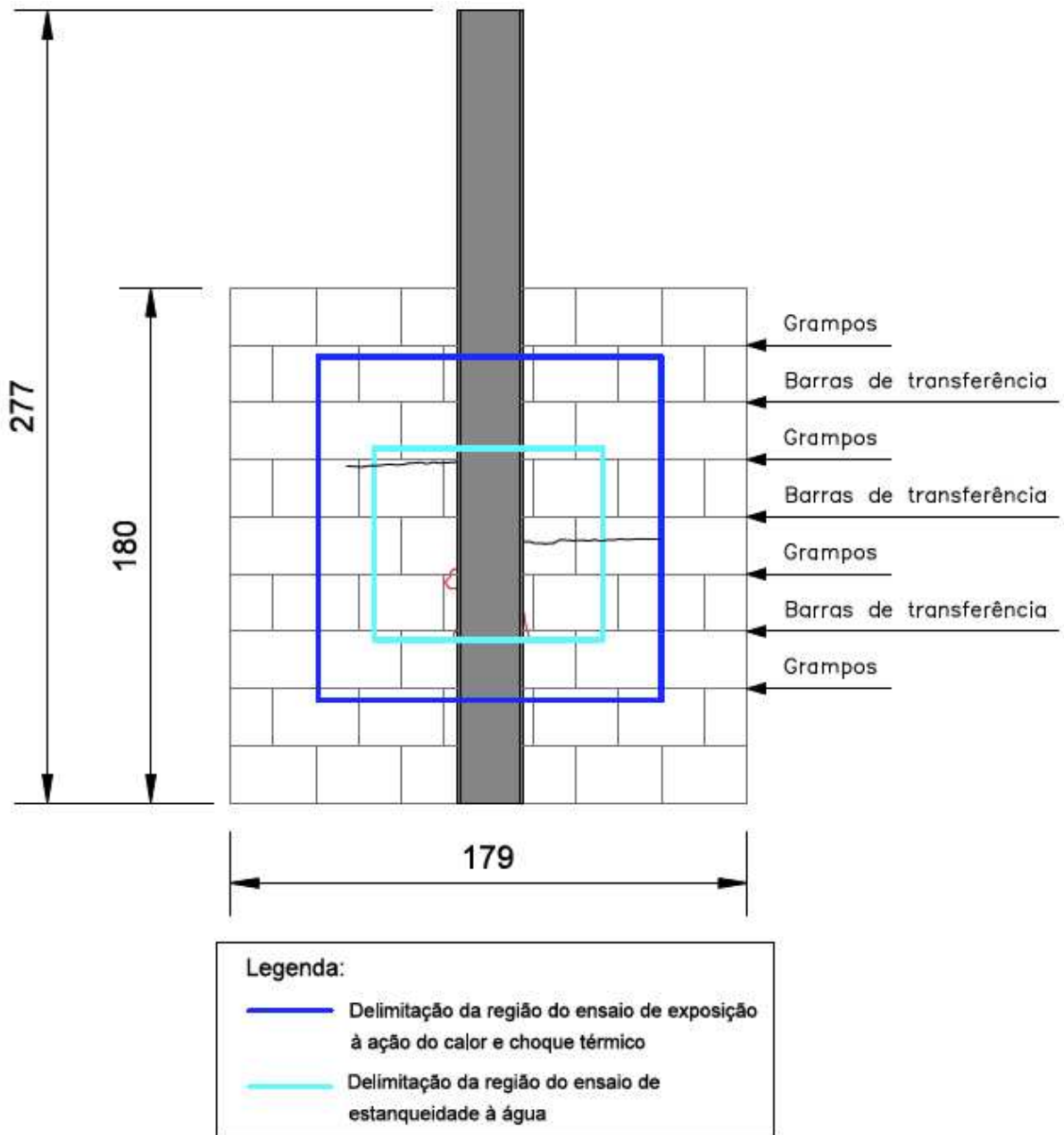
A fim de permitir uma melhor interpretação dos fenômenos, na Figura 121 e na Figura 122 apresentam-se esquemas dos exemplares do modelo experimental, com destaque para as fissuras horizontais identificadas, a delimitação das manchas de umidade, a delimitação da área do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e da área do ensaio de estanqueidade à água. A alvenaria foi representada com as juntas de argamassa visíveis, de forma a facilitar a avaliação do local da fissuração e identificação das fiadas onde se encontravam os grampos e barras de transferência.

Figura 121 – Esquema da face interna do modelo experimental PAR-JV-R1 após término dos ensaios, com identificação das manchas de umidade, áreas de ensaio, fissuras horizontais, grampos e barras de transferência (dimensões em centímetros).



Fonte: A autora, 2019.

Figura 122 – Esquema da face interna do modelo experimental PAR-JV-R2 após término dos ensaios, com identificação das manchas de umidade, áreas de ensaio, fissuras horizontais, grampos e barras de transferência (dimensões em centímetros).



Fonte: A autora, 2019.

Segundo Laska (1993), as alvenarias e as estruturas de aço estão em constante estado de movimento. Ambos experimentam mudanças volumétricas devido a variações de temperatura e deformação e devido a carregamentos estáticos ou dinâmicos. Essas mudanças volumétricas são dependentes das propriedades físicas da alvenaria e do aço, que apresentam comportamentos distintos. Por isso, cada material reage de maneira diferente quando sujeito a mudanças extremas de temperatura ou a carregamentos estáticos ou dinâmicos. Como

resultado, ocorrem movimentações diferenciais quando os dois componentes são construídos em conjunto com o outro.

O aço é um excelente condutor de temperatura e será afetado rapidamente pela temperatura do ambiente externo. Sabendo-se que o coeficiente de expansão térmica do aço é consideravelmente maior do que o da alvenaria, é inevitável que ocorram movimentações diferenciais entre os dois elementos (LASKA,1993).

Conforme pode ser observado na Figura 121 e na Figura 122, algumas fissuras que ocorreram próximo às juntas de argamassa de assentamento, onde se encontram os grampos, se propagaram horizontalmente e se estenderam por pelo menos mais de um bloco cerâmico. Com base nisso e no fato da alvenaria e do pilar de aço se dilatarem de forma distinta quando submetidos a mudanças de temperatura, há indícios de que a fissuração horizontal ocorreu devido à rigidez dos grampos. Isto é, há evidências de que os grampos horizontais foram capazes de transferir parte do deslocamento vertical sofrido pelo pilar de aço para a alvenaria durante a fase de aquecimento do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, provocando a fissuração horizontal.

No modelo experimental foram utilizados grampos horizontais com 6,3 mm de diâmetro, de aço tipo CA-50. Em função dos comentários anteriores, há evidências de que esses grampos foram demasiadamente rígidos para sua finalidade. A rigidez à flexão (EI) de um grampo de aço com 5,0 mm de diâmetro é aproximadamente 60% menor do que a de um grampo de aço com 6,3 mm de diâmetro. Portanto, nota-se que a utilização de grampos de menor diâmetro pode contribuir para evitar que os eventuais deslocamentos verticais sofridos pelo pilar de aço sejam transferidos para a alvenaria.

5

Conclusões

5.1 Conclusões gerais

O presente trabalho foi desenvolvido com objetivo principal de avaliar o desempenho quanto à estanqueidade de juntas utilizadas em sistemas de vedação vertical externa em alvenaria para estruturas de aço, sujeitas a envelhecimento acelerado.

O objetivo de desenvolver e construir um painel radiante que pudesse ser utilizado para o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico foi concluído com êxito, após diversas investigações a respeito de painéis anteriormente desenvolvidos por outros pesquisadores e na busca de boas condições para aquecimento, durabilidade e confiabilidade do ensaio. Apesar da carência de detalhes executivos para fabricação de um painel radiante, tanto na ABNT NBR 15575-4:2013, quanto na literatura em geral, obteve-se um equipamento robusto e capaz de responder bem às condições severas impostas pelo ensaio.

Foi desenvolvido um modelo experimental de parede com junta de movimentação vertical, típico de sistemas de vedação vertical externa em alvenaria para estruturas de aço, com dois exemplares semelhantes.

O primeiro conjunto de ensaios foi realizado sobre o modelo experimental de parede com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com selante à base de poliuretano. O segundo conjunto de ensaios foi realizado sobre o modelo com revestimento de argamassa e sem pintura, com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM. Por fim, foi realizado o ensaio de estanqueidade à água sobre o modelo com revestimento de argamassa e pintado com tinta acrílica, com junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM.

Para os dois primeiros conjuntos de ensaios, o modelo foi submetido a um envelhecimento acelerado produzido pelo ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Em seguida, foram realizados os ensaios de estanqueidade à água. No caso do modelo que foi pintado com tinta acrílica, com a junta vertical tratada com manta de elastômero EPDM, realizou-se somente o ensaio de estanqueidade à água, já que não havia sentido provocar novamente o envelhecimento acelerado do tratamento da junta.

Após registrar as distribuições de temperaturas com auxílio da câmera térmica, verificou-se que a área da junta perde e ganha calor de maneira mais rápida, provavelmente devido à própria existência da junta. Observou-se também que a temperatura ambiente do galpão onde foram realizados os ensaios, o horário do dia em que estavam ocorrendo os ciclos de aquecimento e resfriamento e a temperatura da água utilizada para resfriamento, eram capazes de influenciar a velocidade para se atingir as temperaturas requeridas no ensaio.

Com relação ao registro das degradações ao longo do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, sente-se a necessidade de dispor de uma melhor descrição da forma de expressar os resultados desse ensaio no Anexo E da ABNT NBR 15575-4:2013. Observou-se também que para os ensaios de estanqueidade a ABNT NBR 15575-4:2013 estabelece pressões pneumáticas quase insignificantes, quando comparadas com as pressões obtidas com base na ABNT NBR 6123:1988. Em função disso, o valor de pressão pneumática adotado nos ensaios de estanqueidade realizados no presente trabalho representa de forma mais realista as condições às quais um SVVE está submetido ao longo de sua vida útil.

Existem fortes evidências de que as manchas de umidade identificadas nos modelos experimentais tenham sido provocadas pela passagem de água por meio das fissuras horizontais introduzidas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e não pela junta vertical para ambos os tratamentos (com selante à base de poliuretano e com manta de elastômero EPDM).

Concluiu-se também que teria sido mais adequado realizar a pintura da face externa do modelo experimental antes dos ensaios, de forma a impermeabilizar a superfície da parede e não estar sujeito à influência de mais uma variável na análise, o que permitiria uma avaliação mais precisa da região da junta vertical tratada.

A inexistência de manchas de umidade nos exemplares com face externa pintada com tinta acrílica, após o ensaio de estanqueidade à água, evidencia que a tinta acrílica foi capaz de selar as fissuras na superfície da argamassa e confirma que o tratamento da junta vertical com manta de elastômero EPDM apresentou bom desempenho quanto à estanqueidade.

5.2 Conclusões específicas

5.2.1 Painel radiante

Concluiu-se que o Anexo E da ABNT NBR 15575-4:2013, que trata do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico em SVVE, apresenta poucas informações a respeito de como se fabricar um painel radiante. Sente-se a necessidade e a importância de dispor de um projeto básico no Anexo citado. Apesar disso, o painel radiante fabricado no presente trabalho se mostrou eficiente na execução dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.

5.2.2 Modelo com junta tratada com selante à base de poliuretano

Com base nos resultados dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico, notou-se que não houve degradação visual perceptível do tratamento com selante à base de poliuretano ou aumento de fissuras perceptível a olho nu. Apesar disso, verificou-se o aparecimento de fissuras horizontais na face interna dos exemplares do modelo experimental no decorrer dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.

Após uma avaliação das fissuras horizontais e sabendo-se que o coeficiente de dilatação térmica do aço é maior do que a da alvenaria, há fortes indícios de que a fissuração horizontal ocorreu devido à rigidez dos grampos. Assim, há evidências de que esses grampos transferiram parte do deslocamento vertical sofrido pelo pilar de aço para a alvenaria e de que essa fissuração acabou permitindo a passagem de água durante o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico no modelo experimental PAR-JV-R1.

Em função dos resultados dos ensaios de estanqueidade, verificou-se que em ambos exemplares do modelo experimental ocorreu a passagem de água. O modelo experimental PAR-JV-R1 apresentou porcentagem de área úmida acima dos limites considerados aceitáveis, estabelecidos na ABNT NBR 15575-4:2013, enquanto o modelo experimental PAR-JV-R2 apresentou valores dentro dos limites aceitáveis. Após avaliação dos resultados, verificou-se

que há fortes evidências de que a passagem de água se deu pelas fissuras e não pela junta vertical. Por isso, chegou-se à conclusão de que seria mais adequado realizar a pintura da face externa do modelo experimental antes da realização dos ensaios.

Nos exemplares do modelo experimental construídos no presente trabalho, que apresentam pouca altura, o tratamento da junta vertical com selante foi rigoroso e realizado por profissionais com grande experiência, o que possibilitou uma execução bastante cuidadosa. Ainda assim, notou-se uma dificuldade para garantir a eficiência do tratamento. Um dos motivos para isto é o fato de o tratamento com selante demandar precisão para se garantir o correto fator de forma, que representa a relação entre largura e espessura do mesmo. Em função do que foi observado, entende-se que esse tipo de tratamento é bastante susceptível a erros de execução.

5.2.3 Modelo com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Com base nos resultados dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico, notou-se que não houve degradação visual perceptível do tratamento com manta de elastômero EPDM ou aumento de fissuras perceptível a olho nu. Apesar disso, da mesma forma que no tratamento com selante à base de poliuretano, verificou-se o aparecimento de fissuras horizontais na face interna do modelo experimental no decorrer dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico.

Após uma avaliação das fissuras horizontais concluiu-se que há fortes indícios de que a fissuração horizontal ocorreu devido à rigidez dos grampos. Assim, há evidências de que esses grampos transferiram parte do deslocamento vertical sofrido pelo pilar de aço para a alvenaria e isto acabou permitindo a passagem de água durante os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico no modelo experimental PAR-JV-R1.

Devido à necessidade de promover o envelhecimento acelerado do tratamento dado à junta vertical com manta de elastômero EPDM, a superfície externa de argamassa acabou sendo submetida a dois ensaios completos de exposição à ação do calor e choque térmico. Isto foi necessário pois o objetivo era avaliar o comportamento do tratamento da junta vertical.

Após avaliação dos resultados dos ensaios de estanqueidade para os exemplares sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM, verificou-se que ocorreu a passagem de água apenas no modelo experimental PAR-JV-R1. Após a pintura da face externa do modelo experimental com tinta acrílica, verificou-se que não mais se deu essa passagem de água em nenhum dos exemplares. Concluiu-se que a impermeabilização da superfície da parede com a aplicação da tinta acrílica permitiu avaliar exclusivamente o desempenho da junta quanto à estanqueidade à água. Dessa forma, o tratamento com manta de elastômero EPDM, exposto neste trabalho, apresentou bom desempenho quanto à estanqueidade à água e pode ser recomendado para o tratamento de juntas utilizadas em SVVE em alvenaria.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, tem-se:

- executar ensaios de exposição à ação de calor e choque térmico que tenham como objetivo avaliar a região de outros tipos de juntas e interfaces, preferencialmente, com a alvenaria selada;
- construir um maior número de exemplares para uma melhor comparação de resultados;
- construir um aparelho para molhar a parede de maneira mais uniforme e em toda sua extensão ao mesmo tempo;
- investigar uma forma para se manter a temperatura da água de resfriamento sempre constante, assim como construir modelos experimentais em local menos influenciado pela temperatura ambiente;
- construir um dispositivo que transmita radiação ultravioleta para ser acoplado ao painel radiante utilizado neste trabalho;
- avaliar uma forma de reaproveitamento da água utilizada;
- monitorar a temperatura no pilar de aço.

Para o ensaio de estanqueidade à água, tem-se:

- executar ensaios de estanqueidade à água que tenham como objetivo analisar a região de outros tipos de juntas e interfaces, preferencialmente, com a alvenaria selada;
- construir um maior número de exemplares para uma melhor comparação de resultados.

Referências Bibliográficas

ALVARENGA, R. C. S. S. **Notas de aula CIV 668 – Alvenaria Estrutural**. Universidade Federal de Viçosa. 2012.

ARAÚJO, A. L. **Proposta metodológica para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria para edifícios em estrutura de aço com fins institucionais**. 2010. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2: **Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: **Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961-1: **Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2011.

BELTRAME, F. R.; LOH, K. (Organizadoras) **Aplicação de selantes em juntas de movimentação de fachadas: boas práticas**. Série Recomendações Técnicas Habitar - Vol. 5. Porto Alegre: Antac, 2009, 64p. E-book: ISBN 978–85–89478–34–2.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Interfaces entre estrutura metálica, concreto e alvenaria**. Aço: construindo a Copa 2014 (informe publicitário), 2014. Disponível em: <<http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/imagens/noticias/noticias-2010-10-28/techne161.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

COELHO, R. A. **Interface entre perfis estruturais e laminados e sistemas complementares**. 3. ed. 63p. (Coletânea do uso do aço, v. 1). São Paulo: Gerdau-Açominas, 2004.

CORSINI, R. **Juntas de dilatação em obras de arte**. Revista Infraestrutura urbana – projetos, custos e construção, 14^a ed. Editora Pini. Dezembro/2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/juntas-de-dilatacao-em-obras-de-arte-abertas-ou-256261-1.aspx>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

DING, S. H.; LIU, D. Z. **Durability evaluation of building sealants by accelerated weathering and thermal analysis**. Construction and Building Materials, v.20, p. 878-881, 2006a.

DING, S. H.; LIU, D. Z. **Accelerated aging on sealants and a quantificational way to evaluate the durability**. Journal of Testing and Evaluation. v.34, n.2. March, 2006b.

HUTCHINSON, A. R.; PAGLIUCA, A; WOOLMAN, R. **Sealing and resealing of joints in buildings**. Construction and Building Materials, v.9, n.6, pp. 379-387, 1995.

LACASSE, M. A.; MIYAUCHI, H.; J. HIEMSTRA. **Water penetration of cladding components – Results from laboratory tests on simulated sealed vertical and horizontal joints of wall cladding**. Journal of ASTM International. v.6, n.6. 2009.

LASKA, W. **Masonry and steel detailing handbook**. United States of America: The Aberdeen Group, 1993.

MAGALHÃES, A. B. **Análise de desempenho do sistema estrutural de paredes de concreto com ar incorporado**. Dissertação de mestrado. Uberlândia: UFU, 2016.

MOHAMAD, G. (Org.) **Construções em Alvenaria Estrutural: Materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Blucher, 2015.

MORAES, F. R. **Sistema de vedação vertical externo composto por concreto e PVC frente ao ensaio de ação de calor e choque térmico – Norma de desempenho NBR 15575/2013**. Trabalho de diplomação. Porto Alegre: UFRGS, 2015.

NAKAMURA, J. **Projetos - Estruturas: Interfaces metálicas**. Revista Técnica, edição 179. Editora Pini. Dezembro/2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/179/artigo285915-1.aspx>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

SILVA, G. E. **Alvenaria de vedação em estruturas metálicas**. 2004. 113p. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2004.

SANTOS, M. A. **Recomendações para projeto e detalhamento de juntas e interfaces utilizadas em sistemas de vedação vertical em alvenaria para estruturas de aço**. 2016. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2016.

SANTOS, M. A.; PAES, J. L. R.; VERÍSSIMO, G. S. **Avaliação de problemas patológicos e reabilitação de interfaces utilizadas em sistema de vedação em alvenaria de um edifício em estrutura de aço**. Cinpar 2016. XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. 26-29 outubro. Porto - Portugal, 2016.

SATHLER, L. M. **Avaliação do desempenho quanto à estanqueidade à água de sistemas verticais de vedação externa (SVVE) de paredes de blocos cerâmicos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2018.

SAWAYA, M. R. **Dicionário de informática & internet: inglês – português**. 3ª ed. Editora Paym. São Paulo: Nobel, 1999.

THOMAZ, E.; MITIDIÉRI FILHO, C. V.; CLETO, F. R.; CARDOSO, F. F. **Código de práticas nº 01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009.

VARISCO, M. Q. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação vertical externa**. 2014. 126p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento/ Instituto de Engenharia do Paraná. Curitiba, 2014.

VIAPOL. **Viapol EPDM: Manta de etileno-propileno-dieno-monômero (EPDM)**. Ficha técnica de produto. Versão 09-01-2016. 2016. Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/media/134277/ft-viapol-epdm-09-03-2016.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

Apêndice A

Resultados dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico

 UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas Departamento de Engenharia Civil		Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico Modelo experimental PAR-JV-R1 Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano						Folha 1/3	
CICLO 1									
Temperatura em Viçosa: 20 °C			Umidade relativa do ar: 65%			Horário: 08:05 h			
Temperatura no local do ensaio: 73,3 °F			Data: 17-11-2017						
Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)	
	1	2	3	4					
Início do aquecimento (°C)	22,4	22,3	22,4	22,3	8:05	-	-	-	
Início do ciclo (°C)	80,4	80,2	78,5	77,0	8:35	20,0	76,0	61,0	
Final do ciclo (°C)	80,0	80,6	80,0	78,9	9:35	-	-	-	
Antes do resfriamento (°C)	56,5	56,8	55,0	56,2	9:42	-	78,8	55,0	
Após o resfriamento (°C)	24,7	25,0	25,0	25,0	10:18	-	-	-	
CICLO 2									
Temperatura em Viçosa: 24 °C			Umidade relativa do ar: 51%			Horário: 10:20 h			
Temperatura no local do ensaio: 81,4 °F			Data: 17-11-2017						
Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)	
	1	2	3	4					
Início do aquecimento (°C)	27,6	27,8	26,9	26,5	10:26	-	-	-	
Início do ciclo (°C)	78,2	77,9	79,6	77,0	11:01	-	84,6	47,0	
Final do ciclo (°C)	82,6	82,2	82,2	82,7	12:01	-	-	-	
Antes do resfriamento (°C)	55,6	55,2	55,7	56,0	12:08	-	89,5	40,0	
Após o resfriamento (°C)	25,0	25,0	24,7	24,7	12:52	-	-	-	
CICLO 3									
Temperatura em Viçosa: 27 °C			Umidade relativa do ar: 39%			Horário: 12:54 h			
Temperatura no local do ensaio: 89,8 °F			Data: 17-11-2017						
Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)	
	1	2	3	4					
Início do aquecimento (°C)	28,3	28,5	28,0	27,3	13:02	-	-	-	
Início do ciclo (°C)	79,1	78,4	77,6	77,0	13:47	27,0	91,8	35,0	
Final do ciclo (°C)	79,6	79,1	79,6	78,7	14:47	-	-	-	
Antes do resfriamento (°C)	55,3	55,3	54,7	54,4	14:58	29,0	96,3	30,0	
Após o resfriamento (°C)	27,0	27,3	26,9	26,7	15:19	-	95,4	29,0	



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-JV-R1

Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano

Folha
2/3

CICLO 4

Temperatura em Viçosa: 31 °C Umidade relativa do ar: 28% Horário: 16:12 h
Temperatura no local do ensaio: 94,5 °F Data: 17-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	32,6	32,8	31,3	30,9	16:12	-	-	-
Início do ciclo (°C)	77,8	78,1	78,1	77,0	16:45	29,0	94,1	28,0
Final do ciclo (°C)	78,7	78,3	78,1	77,6	17:45	-	-	-
Antes do resfriamento (°C)	56,4	55,6	57,3	56,6	17:58	31,0	90,9	31,0
Após o resfriamento (°C)	27,3	28,9	27,3	28,8	18:18	28,0	88,7	34,0

CICLO 5

Temperatura em Viçosa: 28 °C Umidade relativa do ar: 34% Horário: 18:29 h
Temperatura no local do ensaio: 87,8 °F Data: 17-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	34,1	34,9	33,3	32,6	18:36	-	-	-
Início do ciclo (°C)	78,2	77,9	78,4	77,0	18:53	30,0	86,4	38,0
Final do ciclo (°C)	78,7	77,7	77,8	77,2	19:53	-	-	-
Antes do resfriamento (°C)	53,0	50,9	53,7	52,0	20:08	26,0	81,5	50,0
Após o resfriamento (°C)	27,9	28,2	26,9	26,3	20:25	25,0	80,3	53,0

CICLO 6

Temperatura em Viçosa: 22 °C Umidade relativa do ar: 51% Horário: 7:30 h
Temperatura no local do ensaio: 77,4 °F Data: 18-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	20,0	20,0	20,0	19,9	7:40	-	-	-
Início do ciclo (°C)	80,3	78,9	80,1	77,0	8:20	22,0	75,2	62,0
Final do ciclo (°C)	80,3	80,2	77,5	77,3	9:20	23,0	79,2	55,0
Antes do resfriamento (°C)	56,7	55,5	55,7	55,8	9:28	24,0	78,8	56,0
Após o resfriamento (°C)	24,7	25,0	25,0	24,7	9:56	24,0	78,8	55,0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-JV-R1

Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano

Folha
3/3

CICLO 7

Temperatura em Viçosa: - °C Umidade relativa do ar: 55% Horário: 10:01 h
Temperatura no local do ensaio: 79,7 °F Data: 18-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	29,2	30,2	28,6	28,0	10:13	24,0	81,9	52,0
Início do ciclo (°C)	81,6	80,9	81,0	77,0	10:46	26,0	86,0	46,0
Final do ciclo (°C)	79,3	78,8	77,4	78,5	11:46	-	-	-
Antes do resfriamento (°C)	54,0	52,4	55,4	55,0	11:55	25,0	89,3	42,0
Após o resfriamento (°C)	26,8	27,6	26,0	26,8	12:18	28,0	88,9	42,0

CICLO 8

Temperatura em Viçosa: 28 °C Umidade relativa do ar: 42% Horário: 12:24 h
Temperatura no local do ensaio: 88,0 °F Data: 18-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	30,6	31,9	30,0	29,9	12:25	29,0	87,8	43,0
Início do ciclo (°C)	82,1	81,4	78,0	77,0	13:00	28,0	91,3	39,0
Final do ciclo (°C)	78,8	78,4	79,8	81,0	14:00	29,0	94,3	34,0
Antes do resfriamento (°C)	56,3	55,1	58,5	57,4	14:07	29,0	95,4	33,0
Após o resfriamento (°C)	27,9	28,1	26,9	27,8	14:30	31,0	95,8	33,0

CICLO 9

Temperatura em Viçosa: - °C Umidade relativa do ar: - % Horário: 14:35 h
Temperatura no local do ensaio: - °F Data: 18-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	32,6	33,2	31,5	30,8	14:40	31,0	95,2	34,0
Início do ciclo (°C)	81,9	81,2	78,5	77,0	14:57	32,0	96,7	32,0
Final do ciclo (°C)	80,2	79,5	77,0	77,6	15:57	30,0	93,2	35,0
Antes do resfriamento (°C)	54,0	51,5	56,2	54,6	16:04	30,0	91,4	37,0
Após o resfriamento (°C)	28,6	28,8	27,7	27,2	16:24	29,0	89,5	40,0

CICLO 10

Temperatura em Viçosa: 29,0 °C Umidade relativa do ar: 40% Horário: 16:31 h
Data: 18-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	33,5	34,5	32,5	32,1	16:41	29,0	90,5	40,0
Início do ciclo (°C)	82,2	80,9	79,2	77,0	17:02	29,0	90,7	40,0
Final do ciclo (°C)	82,2	82,2	80,9	81,0	18:02	30,0	88,2	42,0
Antes do resfriamento (°C)	59,0	52,8	56,4	55,1	18:10	30,0	-	-
Após o resfriamento (°C)	27,0	27,8	26,0	27,0	18:34	28,0	85,3	48,0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-IV-R2

Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano

Folha
1/3

CICLO 1

Temperatura em Viçosa: 20 °C Umidade relativa do ar: 68% Horário: 7:45 h
Temperatura no local do ensaio: 74,5 °F Data: 19-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	23,5	23,5	23,4	23,5	7:45	20,0	74,5	68,0
Início do ciclo (°C)	79,0	78,7	77,6	77,0	8:05	20,0	73,8	73,0
Final do ciclo (°C)	80,0	79,0	80,4	79,1	9:05	21,0	74,5	72,0
Antes do resfriamento (°C)	58,8	55,3	59,1	58,0	9:11	21,0	75,2	70,0
Após o resfriamento (°C)	25,0	25,0	24,7	24,4	9:44	22,0	76,7	68,0

CICLO 2

Temperatura em Viçosa: 23 °C Umidade relativa do ar: 66% Horário: 9:50 h
Temperatura no local do ensaio: 77,2 °F Data: 19-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,0	27,8	27,6	26,8	9:54	22,0	77,6	66,0
Início do ciclo (°C)	77,3	79,0	77,0	79,0	10:19	24,0	78,5	65,0
Final do ciclo (°C)	82,5	82,5	81,9	81,9	11:19	26,0	78,1	67,0
Antes do resfriamento (°C)	55,8	50,6	55,4	53,3	11:27	24,0	78,1	67,0
Após o resfriamento (°C)	24,8	25,0	25,0	24,8	12:03	24,0	78,8	66,0

CICLO 3

Temperatura em Viçosa: 24 °C Umidade relativa do ar: 66% Horário: 12:06 h
Temperatura no local do ensaio: 78,5 °F Data: 19-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,1	27,8	27,2	27,0	12:22	27,0	78,5	67,0
Início do ciclo (°C)	80,6	81,6	77,0	78,2	12:45	27,0	80,8	63,0
Final do ciclo (°C)	81,4	82,2	80,9	81,8	13:45	25,0	84,8	56,0
Antes do resfriamento (°C)	56,7	51,9	54,4	52,2	13:53	25,0	83,7	57,0
Após o resfriamento (°C)	26,7	26,4	26,4	26,2	14:21	25,0	83,5	58,0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-IV-R2

Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano

Folha
2/3

CICLO 4

Temperatura em Viçosa: 25 °C Umidade relativa do ar: 56% Horário: 14:25 h
Temperatura no local do ensaio: 84,5 °F Data: 19-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	30,4	29,9	29,1	28,7	14:31	26,0	84,6	56,0
Início do ciclo (°C)	77,9	78,6	77,0	79,9	14:54	29,0	87,7	48,0
Final do ciclo (°C)	80,0	79,2	78,9	78,3	15:54	28,0	90,5	44,0
Antes do resfriamento (°C)	56,6	53,2	55,5	53,8	16:01	28,0	91,4	43,0
Após o resfriamento (°C)	27,1	27,1	27,3	27,2	16:27	27,0	88,9	46,0

CICLO 5

Temperatura ambiente: 27 °C Umidade relativa do ar: 47% Horário: 16:34 h
Temperatura no local do ensaio: 87,7 °F Data: 19-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	31,1	30,8	29,6	29,4	16:41	27,0	86,8	48,0
Início do ciclo (°C)	81,0	81,4	77,0	79,8	17:03	29,0	85,5	49,0
Final do ciclo (°C)	81,9	81,4	80,5	80,2	18:03	28,0	83,9	57,0
Antes do resfriamento (°C)	55,6	51,8	53,8	52,0	18:11	28,0	83,7	57,0
Após o resfriamento (°C)	26,5	26,1	26,4	25,7	18:42	27,0	79,9	67,0

CICLO 6

Temperatura em Viçosa: 20 °C Umidade relativa do ar: 95% Horário: 7:32 h
Temperatura no local do ensaio: 70,7 °F Data: 20-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	21,7	21,6	21,7	21,7	7:35	20,0	70,7	95,0
Início do ciclo (°C)	78,0	78,1	77,0	79,2	8:16	20,0	72,2	92,0
Final do ciclo (°C)	82,0	82,2	81,2	81,7	9:16	21,0	72,7	91,0
Antes do resfriamento (°C)	59,0	55,5	57,7	54,6	9:26	22,0	72,9	91,0
Após o resfriamento (°C)	25,0	25,0	24,8	24,9	9:54	22,0	72,2	93,0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-IV-R2

Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano

Folha
3/3

CICLO 7

Temperatura em Viçosa: 22 °C Umidade relativa do ar: 93% Horário: 9:58 h
Temperatura no local do ensaio: 77,2 °F Data: 20-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	29,0	29,1	27,7	27,5	10:07	21,0	71,8	92,0
Início do ciclo (°C)	78,5	78,4	77,0	79,9	10:43	21,0	72,7	93,0
Final do ciclo (°C)	79,0	79,9	77,4	77,9	11:43	21,0	74,3	88,0
Antes do resfriamento (°C)	57,1	52,4	55,8	51,3	11:52	21,0	74,9	87,0
Após o resfriamento (°C)	24,8	24,9	24,9	24,8	12:20	21,0	75,8	87,0

CICLO 8

Temperatura em Viçosa: 21 °C Umidade relativa do ar: 87% Horário: 12:27 h
Temperatura no local do ensaio: 76,9 °F Data: 20-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,8	28,5	27,5	27,3	12:30	22,0	77,0	85,0
Início do ciclo (°C)	77,5	78,1	77,0	77,0	12:58	22,0	79,6	74,0
Final do ciclo (°C)	81,8	81,2	80,4	81,6	13:58	25,0	81,9	64,0
Antes do resfriamento (°C)	56,3	51,5	55,6	52,6	14:08	25,0	82,4	64,0
Após o resfriamento (°C)	25,7	25,5	25,8	25,5	14:48	26,0	84,2	61,0

CICLO 9

Temperatura em Viçosa: 26 °C Umidade relativa do ar: 59% Horário: 14:50 h
Temperatura no local do ensaio: 84,7 °F Data: 20-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,8	28,4	27,5	27,6	15:00	26,0	85,1	59,0
Início do ciclo (°C)	80,7	81,8	77,0	78,3	15:21	27,0	85,7	57,0
Final do ciclo (°C)	80,0	79,1	78,9	77,6	16:21	26,0	82,4	64,0
Antes do resfriamento (°C)	56,0	51,8	54,7	51,1	16:34	26,0	82,1	67,0
Após o resfriamento (°C)	26,6	26,4	26,3	26,7	16:59	26,0	79,9	76,0

CICLO 10

Temperatura em Viçosa: 26 °C Umidade relativa do ar: 77% Horário: 17:03 h
Temperatura no local do ensaio: 79,6 °F Data: 20-11-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	30,0	29,1	28,8	28,3	17:09	26,0	79,0	78,0
Início do ciclo (°C)	80,0	79,4	77,7	77,0	17:38	23,0	77,4	80,0
Final do ciclo (°C)	80,6	81,9	81,0	81,8	18:38	21,0	74,3	81,0
Antes do resfriamento (°C)	55,7	50,3	56,7	52,7	18:45	21,0	74,7	81,0
Após o resfriamento (°C)	24,9	24,9	24,8	24,7	19:06	21,0	73,4	85,0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-JV-R1

Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Folha
1/3

CICLO 1

Temperatura em Viçosa: 20 °C Umidade relativa do ar: 81% Horário: 08:05 h
Temperatura no local do ensaio: 70,9 °F Data: 08-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	21,6	21,5	21,6	21,4	8:18	20,0	70,4	85,0
Início do ciclo (°C)	78,0	78,2	80,1	77,0	8:51	20,0	70,9	88,0
Final do ciclo (°C)	80,4	80,1	78,0	77,4	9:51	21,0	72,4	87,0
Antes do resfriamento (°C)	57,0	52,8	54,4	53,1	10:00	21,0	72,0	87,0
Após o resfriamento (°C)	24,9	24,8	24,9	24,8	10:37	21,0	72,2	88,0

CICLO 2

Temperatura em Viçosa: 21 °C Umidade relativa do ar: 89% Horário: 10:42 h
Temperatura no local do ensaio: 72,2 °F Data: 08-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,2	28,0	26,9	26,5	10:48	21,0	72,2	89,0
Início do ciclo (°C)	80,3	80,8	79,7	77,0	11:30	21,0	77,6	87,0
Final do ciclo (°C)	79,0	79,1	77,8	77,3	12:30	23,0	74,2	84,0
Antes do resfriamento (°C)	58,3	54,4	56,9	54,3	12:38	23,0	74,3	85,0
Após o resfriamento (°C)	24,7	24,5	25,0	24,7	13:19	22,0	74,3	85,0

CICLO 3

Temperatura em Viçosa: 22 °C Umidade relativa do ar: 85% Horário: 13:23 h
Temperatura no local do ensaio: 74,5 °F Data: 08-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	27,7	27,9	27,1	26,9	13:29	22,0	75,9	84,0
Início do ciclo (°C)	80,2	81,8	77,0	79,7	13:59	23,0	75,8	80,0
Final do ciclo (°C)	78,0	77,6	78,0	77,0	14:59	23,0	76,8	77,0
Antes do resfriamento (°C)	55,5	50,4	56,0	52,0	15:07	23,0	77,6	77,6
Após o resfriamento (°C)	25,0	24,8	24,8	24,8	15:49	24,0	78,3	78,3



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-JV-R1

Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Folha
2/3

CICLO 4

Temperatura em Viçosa: 24 °C Umidade relativa do ar: 75% Horário: 15:57 h
Temperatura no local do ensaio: 77,9 °F Data: 08-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,0	28,0	27,0	26,9	15:59	24,0	77,9	75,0
Início do ciclo (°C)	77,6	77,6	77,0	77,4	16:27	24,0	79,2	73,0
Final do ciclo (°C)	80,4	80,0	78,7	79,3	17:27	23,0	77,6	77,0
Antes do resfriamento (°C)	55,6	49,0	55,9	51,2	17:37	24,0	77,9	76,0
Após o resfriamento (°C)	24,6	24,9	24,9	24,8	18:17	24,0	76,5	82,0

CICLO 5

Temperatura em Viçosa: 24 °C Umidade relativa do ar: 83% Horário: 18:22 h
Temperatura no local do ensaio: 76,3 °F Data: 08-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,8	27,8	27,2	26,6	18:25	24,0	76,1	83,0
Início do ciclo (°C)	80,6	80,5	77,7	77,0	19:08	24,0	75,4	85,0
Final do ciclo (°C)	80,0	79,1	80,0	78,7	20:08	23,0	74,5	89,0
Antes do resfriamento (°C)	57,7	53,6	57,2	53,7	20:16	23,0	74,9	88,0
Após o resfriamento (°C)	24,6	24,7	24,6	24,8	20:47	23,0	74,7	91,0

CICLO 6

Temperatura em Viçosa: 20 °C Umidade relativa do ar: 93% Horário: 7:39 h
Temperatura no local do ensaio: 70,2 °F Data: 09-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	21,4	21,3	21,2	21,2	7:44	20,0	70,4	93,0
Início do ciclo (°C)	79,9	77,0	79,0	80,0	8:34	21,0	72,5	85,0
Final do ciclo (°C)								
Antes do resfriamento (°C)								
Após o resfriamento (°C)								

Obs.: Houve queda de energia às 9:01h, por cerca de 2 horas. O ciclo teve duração de 27 minutos até a queda de energia.

CICLO 6 (continuação)

Data: 09-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	39,6	39,0	34,5	33,2	10:46	23,0	81,7	62,0
Início do ciclo (°C)	77,7	77,4	77,0	77,8	11:03	25,0	85,0	56,0
Final do ciclo (°C)	80,3	80,5	77,7	77,4	11:36	26,0	86,2	53,0
Antes do resfriamento (°C)	57,0	54,4	53,8	51,9	11:44	26,0	88,4	51,0
Após o resfriamento (°C)	26,5	26,5	26,8	26,8	12:31	26,0	88,7	49,0

Obs.: O tempo restante de aquecimento do ciclo 6 (33 minutos) começou a ser contabilizado a partir do momento em que todos os controladores de temperatura apresentaram valores maiores que 77°C, após a energia voltar.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-JV-R1

Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Folha
3/3

CICLO 7

Temperatura em Viçosa: 26 °C Umidade relativa do ar: 48% Horário: 12:38 h
Temperatura no local do ensaio: 89,1 °F Data: 09-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	29,3	29,1	28,3	27,7	12:45	26,0	89,1	50,0
Início do ciclo (°C)	78,0	77,7	77,0	80,0	13:31	27,0	92,5	45,0
Final do ciclo (°C)	80,1	80,6	78,1	77,8	14:31	28,0	92,9	45,0
Antes do resfriamento (°C)	58,4	55,5	57,1	53,4	14:39	28,0	92,5	42,0
Após o resfriamento (°C)	29,2	29,4	29,0	29,3	15:17	27,0	92,8	47,0

CICLO 8

Temperatura em Viçosa: 27 °C Umidade relativa do ar: 44% Horário: 15:25 h
Temperatura no local do ensaio: 92,5 °F Data: 09-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	30,9	31,4	29,8	29,8	15:31	29,0	92,3	44,0
Início do ciclo (°C)	77,5	77,5	81,2	77,0	15:55	29,0	91,4	44,0
Final do ciclo (°C)	78,4	78,3	78,4	77,7	16:55	29,0	90,0	46,0
Antes do resfriamento (°C)	56,0	52,8	56,4	53,0	17:04	29,0	89,8	46,0
Após o resfriamento (°C)	28,5	28,8	28,6	28,6	17:37	29,0	87,7	49,0

CICLO 9

Temperatura em Viçosa: 29 °C Umidade relativa do ar: 44% Horário: 17:43 h
Temperatura no local do ensaio: 86,8 °F Data: 09-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	31,2	31,2	30,6	30,4	17:47	29,0	86,2	51,0
Início do ciclo (°C)	80,2	79,7	79,0	77,0	18:16	29,0	84,2	54,0
Final do ciclo (°C)	80,6	80,9	78,2	79,3	19:16	23,0	80,8	60,0
Antes do resfriamento (°C)	56,2	55,7	54,3	52,8	19:28	24,0	79,1	62,0
Após o resfriamento (°C)	27,8	27,9	27,6	27,2	19:59	25,0	78,7	69,0

Obs.: Após o aquecimento do ciclo 9, houve uma falha na fonte que ligava os controladores 1 e 3. Devido a isso, fez-se uso do termômetro infravermelho para averiguar a temperatura superficial da parede no momento do resfriamento, de forma a poder finalizar o ciclo 9.

CICLO 10

Temperatura em Viçosa: 24 °C Umidade relativa do ar: 67% Horário: 09:25 h
Temperatura no local do ensaio: 77,5 °F Data: 10-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	22,1	21,8	22,0	21,7	9:33	24,0	78,5	67,0
Início do ciclo (°C)	78,4	81,0	77,0	81,2	10:00	24,0	80,6	62,0
Final do ciclo (°C)	81,5	81,4	79,6	78,9	11:00	25,0	85,3	55,0
Antes do resfriamento (°C)	55,2	54,3	56,0	51,5	11:08	25,0	87,5	52,0
Após o resfriamento (°C)	26,6	26,7	26,8	26,8	12:02	27,0	91,4	41,0

Obs.: Deu-se continuidade ao ciclo 10 no dia seguinte, pela manhã.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-IV-R2

Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Folha
1/3

CICLO 1

Temperatura em Viçosa: 28°C Umidade relativa do ar: 40% Horário: 13:16 h
Temperatura no local do ensaio: 93,2 °F Data: 10-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,3	29,0	28,1	28,6	13:27	28,0	92,5	40,0
Início do ciclo (°C)	79,5	78,2	77,0	79,9	13:46	28,0	90,7	41,0
Final do ciclo (°C)	81,6	81,6	82,4	80,8	14:46	30,0	94,1	37,0
Antes do resfriamento (°C)	58,2	57,7	60,3	58,0	14:54	30,0	90,3	36,0
Após o resfriamento (°C)	28,3	28,8	28,4	28,5	15:25	30,0	93,4	36,0

CICLO 2

Temperatura em Viçosa: 27°C Umidade relativa do ar: 38% Horário: 15:30 h
Temperatura no local do ensaio: 92,8 °F Data: 10-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	32,2	32,2	31,3	31,4	15:35	27,0	92,3	38,0
Início do ciclo (°C)	78,5	79,3	77,0	77,3	15:56	27,0	91,1	44,0
Final do ciclo (°C)	80,5	79,5	81,9	81,0	16:56	30,0	90,0	46,0
Antes do resfriamento (°C)	58,0	56,9	60,1	55,8	17:09	30,0	90,4	45,0
Após o resfriamento (°C)	29,1	29,1	29,2	28,7	17:49	30,0	87,7	48,0

CICLO 3

Temperatura em Viçosa: 30°C Umidade relativa do ar: 49% Horário: 17:53 h
Temperatura no local do ensaio: 87,5 °F Data: 10-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	32,1	32,0	30,6	30,4	18:00	31,0	87,1	49,0
Início do ciclo (°C)	81,8	79,7	78,7	77,0	18:22	31,0	86,2	49,0
Final do ciclo (°C)	80,8	81,1	77,6	77,8	19:22	28,0	82,4	60,0
Antes do resfriamento (°C)	57,5	55,6	58,1	55,3	19:27	26,0	82,3	62,0
Após o resfriamento (°C)	27,8	27,8	27,3	27,7	20:03	26,0	79,4	66,0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-IV-R2

Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Folha
2/3

CICLO 4

Temperatura em Viçosa: 26 °C Umidade relativa do ar: 67% Horário: 20:10 h
Temperatura no local do ensaio: 79,0 °F Data: 10-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	30,4	30,2	29,2	29,1	20:15	26,0	79,0	67,0
Início do ciclo (°C)	77,6	78,0	77,0	77,4	20:42	23,0	78,1	68,0
Final do ciclo (°C)	79,1	79,6	77,6	77,1	21:42	24,0	77,4	70,0
Antes do resfriamento (°C)	56,0	53,3	58,3	54,1	21:50	24,0	77,2	70,0
Após o resfriamento (°C)	26,2	26,2	26,1	26,1	22:29	21,0	76,0	74,0

CICLO 5

Temperatura em Viçosa: 21 °C Umidade relativa do ar: 74% Horário: 22:36 h
Temperatura no local do ensaio: 76,0 °F Data: 10-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	29,0	28,6	27,7	27,8	22:36	21,0	75,6	74,0
Início do ciclo (°C)	79,8	80,2	77,0	79,3	23:03	22,0	75,3	76,0
Final do ciclo (°C)	82,0	82,7	81,4	81,7	0:03	21,0	74,5	77,0
Antes do resfriamento (°C)	56,4	53,1	58,8	54,0	0:09	21,0	74,5	76,0
Após o resfriamento (°C)	25,0	25,1	25,3	25,3	0:37	20,0	73,6	78,0

CICLO 6

Temperatura em Viçosa: 20 °C Umidade relativa do ar: 94% Horário: 8:45 h
Temperatura no local do ensaio: 70,9 °F Data: 11-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	22,0	21,9	21,9	21,8	8:49	20,0	70,9	94,0
Início do ciclo (°C)	79,1	78,5	77,0	78,9	9:50	20,0	72,2	90,0
Final do ciclo (°C)	78,3	79,0	78,6	77,6	10:50	20,0	72,0	89,0
Antes do resfriamento (°C)	59,2	56,5	60,3	55,3	10:58	20,0	72,5	88,0
Após o resfriamento (°C)	24,8	25,0	24,6	24,9	11:33	20,0	73,6	87,0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Exposição à Ação do Calor e Choque Térmico

Modelo experimental PAR-IV-R2

Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Folha
3/3

CICLO 7

Temperatura em Viçosa: 21 °C Umidade relativa do ar: 86% Horário: 11:42 h
Temperatura no local do ensaio: 73,6 °F Data: 11-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	27,3	27,1	26,8	26,9	11:45	21,0	73,4	86,0
Início do ciclo (°C)	79,9	80,1	78,6	77,0	12:23	22,0	75,2	82,0
Final do ciclo (°C)	80,9	82,1	78,5	79,5	13:23	26,0	74,3	82,0
Antes do resfriamento (°C)	58,1	55,3	60,4	55,2	13:29	26,0	74,3	82,0
Após o resfriamento (°C)	25,2	25,3	25,7	25,4	14:11	22,0	74,5	83,0

CICLO 8

Temperatura em Viçosa: 22 °C Umidade relativa do ar: 82% Horário: 14:14 h
Temperatura no local do ensaio: 74,7 °F Data: 11-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	27,8	27,4	27,5	26,5	14:20	22,0	74,9	81,0
Início do ciclo (°C)	78,9	80,3	77,0	79,3	14:51	24,0	78,8	69,0
Final do ciclo (°C)	78,5	79,1	77,1	77,3	15:51	24,0	79,7	67,0
Antes do resfriamento (°C)	56,9	58,9	58,9	53,4	16:04	24,0	80,1	65,0
Após o resfriamento (°C)	26,0	26,2	26,2	25,8	16:41	24,0	78,8	67,0

CICLO 9

Temperatura em Viçosa: 24 °C Umidade relativa do ar: 68% Horário: 16:44 h
Temperatura no local do ensaio: 78,7 °F Data: 11-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	28,2	28,0	27,2	27,1	16:52	24,0	78,1	69,0
Início do ciclo (°C)	77,8	78,7	77,0	79,6	17:24	26,0	76,1	71,0
Final do ciclo (°C)	79,0	79,9	77,6	77,5	18:24	26,0	75,1	75,0
Antes do resfriamento (°C)	56,0	52,1	58,5	52,7	18:33	22,0	75,8	74,0
Após o resfriamento (°C)	25,8	26,0	25,9	25,8	19:03	22,0	74,2	77,0


CICLO 10

Temperatura em Viçosa: 22 °C Umidade relativa do ar: 78% Horário: 19:09 h
Temperatura no local do ensaio: 74,2 °F Data: 11-12-2017

Temperaturas	Termopares				Horário (h)	Temperatura em Viçosa (°C)	Temperatura no local do ensaio (°F)	Umidade relativa do ar (%)
	1	2	3	4				
Início do aquecimento (°C)	29,2	28,4	28,2	28,0	19:17	23,0	74,0	78,0
Início do ciclo (°C)	79,8	78,6	77,0	77,5	19:46	21,0	73,6	77,0
Final do ciclo (°C)	78,5	79,0	77,8	77,0	20:46	20,0	72,9	80,0
Antes do resfriamento (°C)	55,0	50,8	57,1	51,4	20:57	20,0	73,1	80,0
Após o resfriamento (°C)	25,0	24,9	24,7	24,9	21:28	20,0	71,8	84,0

Apêndice B

Resultados dos ensaios de estanqueidade à água

 UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas Departamento de Engenharia Civil		Ensaio de Estanqueidade à Água Modelo experimental PAR-JV-R1 Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano			
Data: 25/11/2017		Aparecimento da primeira mancha : 1h45min			
Vazão: 1,61 L/min					
Pressão aplicada: 144 Pa					
Duração Ensaio	Horário	Ambiente		Câmara	
		Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
0h	17:24	27,9	52	25,4	99,9
	17:39	27,8	52	25,5	99,9
	17:54	27,4	53	25,5	99,9
	18:09	27,0	54	25,6	99,9
1h	18:24	26,6	56	25,7	99,9
	18:39	26,3	58	25,5	99,9
	18:54	26,1	58	25,4	99,9
	19:09	25,9	60	25,3	99,9
2h	19:24	25,3	66	25,2	99,9
	19:39	25,2	64	25,0	99,9
	19:54	24,8	68	24,8	99,9
	20:09	24,6	69	24,7	99,9
3h	20:24	24,6	68	24,6	99,9
	20:39	24,4	72	24,5	99,9
	20:54	23,9	77	24,4	99,9
	21:09	23,8	76	24,2	99,9
4h	21:24	23,6	77	24,0	99,9
	21:39	23,3	77	23,9	99,9
	21:54	23,0	77	23,8	99,9
	22:09	22,7	79	23,6	99,9
5h	22:24	22,6	78	23,5	99,9
	22:39	22,3	79	23,4	99,9
	22:54	22,1	79	23,2	99,9
	23:09	22,1	80	23,1	99,9
6h	23:24	21,9	81	22,9	99,9
	23:39	21,8	81	22,8	99,9
	23:54	21,8	81	22,7	99,9
	0:09	21,7	82	22,7	99,9
7h	0:24	21,6	82	22,6	99,9



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Estanqueidade à Água

Modelo experimental PAR-JV-R2
Modelo sem pintura, com junta tratada com selante à base de poliuretano

Data: 26/11/2017

Vazão: 1,61 L/min

Pressão aplicada: 144 Pa

Aparecimento da primeira mancha: 8h

Duração Ensaio	Horário	Ambiente		Câmara	
		Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
0h	17:20	27,2	50	26,4	99,9
	17:35	27,1	51	26,0	99,9
	17:50	26,5	53	26,1	99,9
	18:05	26,2	54	25,9	99,9
1h	18:20	26,1	55	25,8	99,9
	18:35	25,8	55	25,7	99,9
	18:50	25,6	56	25,5	99,9
	19:05	25,3	58	25,4	99,9
2h	19:20	25,0	60	25,3	99,9
	19:35	24,7	64	25,2	99,9
	19:50	24,2	67	25,0	99,9
	20:05	24,0	69	24,8	99,9
3h	20:20	23,7	72	24,4	99,9
	20:35	23,7	71	24,3	99,9
	20:50	23,4	73	24,2	99,9
	21:05	23,2	73	23,9	99,9
4h	21:20	23,1	74	23,7	99,9
	21:35	23,0	76	23,6	99,9
	21:50	22,9	76	23,5	99,9
	22:05	22,7	77	23,4	99,9
5h	22:20	22,7	76	23,3	99,9
	22:35	22,6	76	23,2	99,9
	22:50	22,5	77	23,0	99,9
	23:05	22,3	78	23,0	99,9
6h	23:20	22,3	73	22,9	99,9
	23:35	22,1	77	22,8	99,9
	23:50	21,9	78	22,6	99,9
	0:05	21,8	78	22,5	99,9
7h	0:20	21,8	77	22,5	99,9
	0:35	21,7	77	22,4	99,9
	0:50	21,6	79	22,3	99,9
	1:05	21,6	78	22,2	99,9
8h	1:20	21,6	77	22,2	99,9
	1:35	21,3	80	22,1	99,9
	1:50	21,3	80	22,0	99,9
	2:05	21,0	81	21,9	99,9
9h	2:20	20,9	82	21,9	99,9



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Estanqueidade à Água

Modelo experimental PAR-JV-R1
Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Data: 15/12/2017

Vazão: 1,61 L/min

Pressão aplicada: 144 Pa

Aparecimento da primeira mancha: 2h45min

Duração Ensaio	Horário	Ambiente		Câmara	
		Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
0h	8:20	21,4	86	21,5	99,9
	8:35	21,5	84	21,6	99,9
	8:50	21,6	85	21,7	99,9
	9:05	21,7	85	21,7	99,9
1h	9:20	22,0	81	21,8	99,9
	9:35	22,2	80	21,9	99,9
	9:50	21,9	83	22,0	99,9
	10:05	21,6	86	21,9	99,9
2h	10:20	22,3	81	22,0	99,9
	10:35	23,1	75	22,2	99,9
	10:50	24,0	71	22,4	99,9
	11:05	24,9	69	22,6	99,9
3h	11:20	24,0	68	22,7	99,9
	11:35	24,5	69	22,8	99,9
	11:50	25,2	65	23,0	99,9
	12:05	25,5	64	23,3	99,9
4h	12:20	26,2	63	23,5	99,9
	12:35	27,7	59	23,7	99,9
	12:50	28,0	55	24,1	99,9
	13:05	28,9	55	24,3	99,9
5h	13:20	29,3	53	24,6	99,9
	13:35	29,4	53	24,8	99,9
	13:50	29,8	51	25,0	99,9
	14:05	30,6	47	25,3	99,9
6h	14:20	29,6	48	25,3	99,9
	14:35	30,6	47	25,5	99,9
	14:50	30,9	46	25,6	99,9
	15:05	31,3	44	25,8	99,9
7h	15:20	31,7	41	26,0	99,9



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Estanqueidade à Água

Modelo experimental PAR-JV-R2
Modelo sem pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Data: 16/11/2017

Vazão: 1,61 L/min

Pressão aplicada: 144 Pa

Aparecimento da primeira mancha: Não manchou

Duração Ensaio	Horário	Ambiente		Câmara	
		Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
0h	7:50	21,1	89	21,7	99,9
	8:05	22,3	83	22,2	99,9
	8:20	22,4	81	22,4	99,9
	8:35	22,7	78	22,5	99,9
1h	8:50	23,2	74	22,6	99,9
	9:05	23,5	72	22,7	99,9
	9:20	23,8	72	22,9	99,9
	9:35	23,7	72	22,9	99,9
2h	9:50	24,4	70	23,1	99,9
	10:05	25,4	65	23,4	99,9
	10:20	26,0	63	23,6	99,9
	10:35	25,9	64	23,8	99,9
3h	10:50	26,4	62	24,0	99,9
	11:05	28,0	57	24,3	99,9
	11:20	28,2	58	24,6	99,9
	11:35	27,2	59	24,7	99,9
4h	11:50	28,3	56	25,0	99,9
	12:05	28,0	56	25,2	99,9
	12:20	28,7	56	25,3	99,9
	12:35	28,0	56	25,5	99,9
5h	12:50	29,2	52	25,7	99,9
	13:05	29,3	53	25,8	99,9
	13:20	30,5	48	26,1	99,9
	13:35	31,3	46	25,5	99,9
6h	13:50	31,3	46	26,6	99,9
	14:05	31,5	44	26,9	99,9
	14:20	31,2	43	27,1	99,9
	14:35	31,9	42	27,3	99,9
7h	14:50	32,3	43	27,5	99,9
	15:05	32,2	43	27,8	99,9
	15:20	31,1	44	27,7	99,9
	15:35	31,1	44	27,7	99,9
8h	15:50	31,1	42	27,7	99,9



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Estanqueidade à Água

Modelo experimental PAR-JV-R1
Modelo com pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Data: 26/01/2018

Vazão: 1,61 L/min

Pressão aplicada: 144 Pa

Aparecimento da primeira mancha: Não manchou

Duração Ensaio	Horário	Ambiente		Câmara	
		Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
0h	9:15	25,2	66%	23,6	99
	9:45	25,4	64%	23,6	99
1h	10:15	27,1	62%	24,1	99
	10:45	28	58%	24,6	99
2h	11:15	28,5	57%	25,3	99
	11:45	29	54%	25,5	99
3h	12:15	30	52%	26,3	99
	12:45	30,2	50%	26,9	99
4h	13:15	31,1	48%	27,7	99
	13:45	31,5	45%	28,1	99
5h	14:15	32	43%	28,6	99
	14:45	32,1	42%	28,7	99
6h	15:15	32,1	42%	28,8	99
	15:45	31,6	43%	29,1	99
7h	16:15	30,2	44%	29,2	99
	16:45	29,4	45%	29,1	99
8h	17:15	28	48%	28,9	99



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil

Ensaio de Estanqueidade à Água

Modelo experimental PAR-JV-R2
Modelo com pintura, com junta tratada com manta de elastômero EPDM

Data: 27/01/2018

Vazão: 1,61 L/min

Pressão aplicada: 144 Pa

Aparecimento da primeira mancha: Não manchou

Duração Ensaio	Horário	Ambiente		Câmara	
		Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
0h	8:00	23,2	-	22,1	99
	8:30	23,3	-	22,6	99
1h	9:00	24,1	-	23,5	99
	9:30	24,5	-	23,8	99
2h	10:00	26	-	24,1	99
	10:30	26,6	-	24,6	99
3h	11:00	27,2	-	25,1	99
	11:30	27,6	-	25,7	99
4h	12:00	28,1	-	25,9	99
	12:30	29,2	-	26,3	99
5h	13:00	29,3	-	26,9	99
	13:30	29,8	-	27,5	99
6h	14:00	30,3	-	28,4	99
	14:30	30,3	-	29,1	99
7h	15:00	30,7	-	29,9	99
	15:30	30,5	-	30,3	99
8h	16:00	30,1	-	30	99