

ALEX DE FREITAS BHERING CARDOSO

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO QUANTO À ESTANQUEIDADE
E DURABILIDADE DE INTERFACES ENTRE ALVENARIA E ESTRUTURA DE AÇO
SUJEITAS A ENVELHECIMENTO ACELERADO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2019

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C268a
2019

Cardoso, Alex de Freitas Bhering, 1982-
Avaliação experimental do desempenho quanto à
estanqueidade e durabilidade de interfaces entre alvenaria e
estrutura de aço sujeitas a envelhecimento acelerado / Alex de
Freitas Bhering Cardoso. – Viçosa, MG, 2019.
xix, 151 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Gustavo de Souza Veríssimo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 131-134.

1. Aço - Estruturas. 2. Juntas (Engenharia). 3. Vedação
(Tecnologia). 4. Material de construção - Vida útil.
5. Desempenho. 6. Alvenaria. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 624.1821

ALEX DE FREITAS BHERING CARDOSO

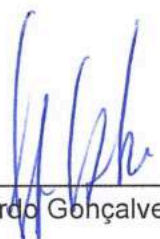
**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO QUANTO À ESTANQUEIDADE
E DURABILIDADE DE INTERFACES ENTRE ALVENARIA E ESTRUTURA DE AÇO
SUJEITAS A ENVELHECIMENTO ACELERADO**

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

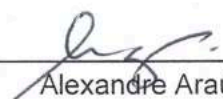
APROVADA: 25 de fevereiro de 2019.



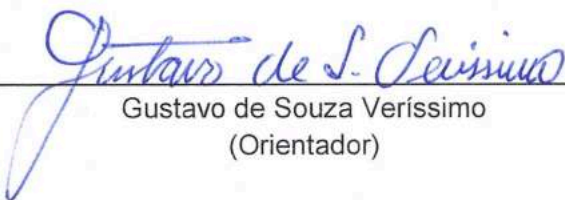
José Luiz Rangel Paes



Leonardo Gonçalves Pedroti



Alexandre Araújo Bertini



Gustavo de Souza Veríssimo
(Orientador)

Aos meus pais que desde cedo me
mostraram que a educação é o
melhor caminho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua imensa bondade sempre.

Aos meus pais, Maria Imaculada e José Bhering, e à minha irmã Aline, por todo amor, incentivo e por sempre torcerem por mim.

À minha querida e amada Leili (Linha), pelo amor, companheirismo, incentivo e compreensão nestes anos tão corridos.

Agradeço com muita admiração e respeito ao professor José Luiz Rangel pela imensa contribuição, não somente nas orientações acadêmicas, mas também com as contribuições para a vida profissional e pessoal. Muito obrigado por acreditar em mim.

Ao professor Gustavo Veríssimo por suas contribuições com a instrumentação do modelo experimental, pessoa de extrema inteligência e dono da melhor aula que já assisti na vida.

Ao professor Leonardo Pedroti pelas sugestões para os ensaios e contribuições ao trabalho.

Ao professor Alexandre Bertini por aceitar participar da banca e contribuir com o trabalho.

À Pró-Reitora de Administração Leiza Maria Granzinolli pela disponibilização de materiais e da equipe de servidores para construção dos modelos experimentais.

Ao Eng. Wander Rodrigues da Diretoria de Manutenção da UFV, pelo auxílio nas soluções de diversas questões relacionadas aos ensaios realizados.

À equipe de obras da UFV, os mestres de obras Assis e Raimundo, os pedreiros Romeu e Vicente, os serralheiros Luís e Vicente e o eletricista Sebastião.

Ao apontador Vítor por sua boa conversa nos momentos ociosos durante os ensaios.

Aos engenheiros e colegas de trabalho João Forato e Leonardo Vidigal pelo apoio e compreensão em muitos momentos. Foi muito significativo para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu amigo Caio Nascimento pela fundamental ajuda na execução dos ensaios realizados neste trabalho, principalmente pelo companheirismo, pelas horas de descontração e por me deixar sair primeiro no revezamento para o almoço.

Ao professor Delly Oliveira pelo empréstimo da câmara térmica.

Ao engenheiro eletricista André Luis Mendes por suas contribuições importantíssimas para a instalação elétrica e ajustes eletrônicos nos painéis.

Ao encarregado de obras da UFV Maurício pelo transporte do painel radiante e câmara de estanqueidade.

Aos colegas de mestrado Marina, Rayane, Márcia e Eduardo pelas colaborações durante as disciplinas e pela amizade construída.

Aos meus colegas de trabalho Marcelo, Edivaldo e Gustavo que além da agradável convivência me ajudaram no transporte de algumas vigas que por fim nem foram utilizadas.

Ao amigo Adonai Fineza, gestor do curso de Engenharia Civil da Univiçosa, pelo apoio durante e contribuições que facilitaram os meus deslocamentos e os meus estudos.

Ao meu primo e amigo Jean Cardoso pela ajuda na instalação e, principalmente, a desinstalação da câmara de umidade nas interfaces mais altas do modelo.

Ao técnico de impermeabilização Jeferson pela aplicação paciente e cuidadosa do tratamento com a manta nas interfaces do modelo experimental.

Aos queridos amigos João Pimenta e Bianca pelos momentos de descontração. Nossos churrascos, lagostas, camarão e às vezes até espumantes fizeram toda diferença nesse processo. Somos “*London*” e merecemos.

Aos funcionários do LMC, em especial, ao Zé Carlos e ao Wellington por ajudar na preparação e separação de materiais dos ensaios.

A todos que contribuíram de alguma forma para que fosse possível a realização deste trabalho, o meu muito obrigado!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Manifestações patológicas associadas a problemas no sistema de vedação vertical.	7
Figura 2 - Manifestações patológicas próximo à interface entre viga de aço e laje em steel deck : a) região externa; b) região interna.	8
Figura 3 – Região com corrosão na interface entre revestimento e perfil de aço: a) exterior da edificação com corrosão no perfil, b) interior da edificação com corrosão no perfil e mofo no revestimento.	9
Figura 4 – Regiões de corrosão na interface entre o sistema de vedação e o perfil de aço.	9
Figura 5 - Classificação das alvenarias segundo os parâmetros de rigidez das ligações, posicionamento em relação à estrutura e continuidade dos panos.....	10
Figura 6 – Detalhes de paredes para diferentes situações quanto à continuidade dos panos: a) formadas por panos descontínuos, b) formada por panos contínuos.	11
Figura 7 - Detalhes de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço para diferentes alternativas de posicionamento em relação à estrutura: a) alvenaria fora do plano da estrutura, (b) alvenaria no plano da estrutura.	11
Figura 8 - Detalhe de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço para diferentes situações quanto à vinculação com a estrutura: a) alvenaria desvinculada, b) alvenaria vinculada.	12
Figura 9 - Esquema de fator de forma do selante.	13
Figura 10 - Aspecto de uma junta vertical tratada com selante.	14
Figura 11 – Materiais utilizados na aplicação do tratamento com manta de elastômero EPDM: a) manta de elastômero EPDM; b) fita de caldeação; c) manta de elastômero EDPM aderida à fita de caldeação; d) tela de poliéster.	15
Figura 12 – Esquema de instrumentação do corpo de prova para o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico: a) posicionamento dos termopares; b) posicionamento do defletômetro.	18
Figura 13 - Esquema da montagem do corpo de prova para o ensaio de estanqueidade à água.	20

Figura 14 – Esquema geral de dispositivos para realização do ensaio de estanqueidade.	21
Figura 15 - Fluxograma dos procedimentos realizados no modelo experimental.	27
Figura 16 - Esquema do modelo experimental com indicação das interfaces típicas.....	29
Figura 17 – Nomenclatura dos modelos experimentais.....	29
Figura 18 – Detalhe da interface INT1 representada no modelo experimental.	30
Figura 19 – Detalhe da interface INT2 representada no modelo experimental.	31
Figura 20 – Detalhe da interface INT3 representada no modelo experimental.	32
Figura 21 - Instalação do pórtico do modelo experimental: a) execução dos furos; b) montagem da viga de aço.....	33
Figura 22 – Cantoneiras soldadas nos perfis de aço do modelo experimental.	34
Figura 23 - Execução da primeira fiada da alvenaria do modelo experimental.....	34
Figura 24 – Aplicação de EPS na junta JV-1 entre a alvenaria e a alma do pilar de aço, da interface INT1.	35
Figura 25 – Aplicação de EPS na junta JH-3 entre alvenaria e viga de aço, da interface INT2.....	35
Figura 26 – Aplicação de EPS na junta JV-1 entre alvenaria e mesa do pilar de aço, da interface INT3.	36
Figura 27 – Aspecto do modelo experimental após a execução do chapisco e do emboço camurçado na região das juntas.	37
Figura 28 – Elementos utilizados para simular a disposição de uma laje sobre a viga do pórtico: a) chapa galvanizada dobrada; b) chapa soldada sobre a viga.	38
Figura 29 – Aspecto do elemento de concreto sobre a viga do pórtico.	38
Figura 30 – Aspecto do assentamento das fiadas de alvenaria superiores.....	39
Figura 31 – Aspecto das juntas entre perfil de aço e as cantoneiras após a aplicação de massa plástica: a) junta horizontal; b) junta vertical.....	39

Figura 32 - Aspecto final do modelo experimental sem tratamento das interfaces entre alvenaria e perfil de aço.	40
Figura 33 – Preparação da superfície de aplicação de manta de elastômero EPDM: a) lixamento; b) limpeza.	41
Figura 34 – Preparação da manta de elastômero EPDM: a) manta de elastômero EPDM cortada em tiras; b) fita de caldeação; c) manta colada na fita de caldeação.	41
Figura 35 - Tratamento de juntas entre alvenaria e perfil de aço com manta de elastômero EPDM: a) aplicação do adesivo sobre a região vizinha à junta; b) aplicação do adesivo sobre a face externa da fita de caldeação já fundida com a manta; c) aplicação da fita de caldeação já fundida com a manta sobre a região da junta.	42
Figura 36 – Aspecto final do modelo experimental após a aplicação do tratamento com manta de elastômero EPDM.	42
Figura 37 – Tratamento das juntas com manta de elastômero EPDM: a) aplicação da tela de poliéster com emulsão acrílica; b) aspecto final de juntas após o tratamento.	43
Figura 38 - Aspecto final do modelo experimental após o tratamento das juntas com manta de elastômero EPDM.	44
Figura 39 – Perspectiva do painel radiante (dimensões em milímetros).	46
Figura 40 – Aspecto geral do painel radiante: a) vista posterior; b) vista frontal.....	46
Figura 41 - Esquema multifilar do sistema de controle do painel radiante.	48
Figura 42 - Controladores de temperatura.	49
Figura 43 - Transdutor de deslocamento.	49
Figura 44 - Fixação dos DTs com o uso de base magnética.	50
Figura 45 – Sistema de aquisição de dados: a) computador; b) dispositivo Quantum X MX840A.	50
Figura 46 - Câmera termográfica.	51
Figura 47 - Fluxograma do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.....	53
Figura 48 – a) Marcação do perímetro do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) Fixação de termopares na face externa do modelo experimental.	54

Figura 49 - Fixação de um termopar sobre a manta de elastômero EPDM aplicada em uma junta vertical.....	54
Figura 50 – Posicionamento e fixação de termopares.	55
Figura 51 - Fixação do DT na face interna da interface INT1.....	56
Figura 52 – Fixação do DT na face externa da interface INT2.	56
Figura 53 – Fixação dos DTs na face interna da interface 3.....	57
Figura 54 – Detalhe da chapa de aço colocada na lateral do painel radiante.	57
Figura 55 - Escoramento do painel radiante durante o ensaio da interface INT3.....	58
Figura 56 - Painel radiante posicionado e preparado para o início do ensaio na interface INT2.....	58
Figura 57- Aspecto geral da parede após a pintura da face externa.	60
Figura 58 - Esquema geral do arranjo de equipamentos acoplados à câmara de estanqueidade.....	61
Figura 59 - Caixa de EPS para controle de luminosidade e posicionamento da câmera fotográfica: a) interface INT1; b) interface INT2.	62
Figura 60 - Sequência de fixação da câmara de estanqueidade: a) aspecto da parede sem furos; b) furação da parede com brocas de vídea; c) aspecto da parede com furos; d) aplicação de silicone; e) ajuste dos tarugos na face interna; f) posicionamento final da câmara para realização do ensaio.....	63
Figura 61 - Aspecto da parede e das borrachas de vedação após a retirada da câmara de estanqueidade.....	64
Figura 62 – Fluxograma do ensaio de estanqueidade à água.....	65
Figura 63 – Aspecto geral e detalhes das interfaces entre alvenaria e aço no edifício do LAAES/UFMG.	68
Figura 64 - Aspecto geral e detalhes das interfaces entre alvenaria e aço no edifício EE/UFMG.....	69
Figura 65 – Aspecto geral e detalhes do edifício PVB/UFV após o tratamento das interfaces com manta de elastômero EPDM.....	71

Figura 66 - Aspecto geral do edifício da COPEVE/UFV: a) aspecto geral da edificação antes da requalificação; b) aspecto geral da edificação durante a execução da requalificação; c) detalhe de um contraventamento introduzido na estrutura e interface entre a alvenaria e o perfil de aço; d) detalhe da interface tratada com manta de elastômero EPDM; e) detalhe da viga de aço sob a placa de cimento amianto; f) detalhe da viga de aço após a retirada da placa de amianto e após o tratamento com manta de elastômero EPDM.	73
Figura 67 – Edifício CEAD/UFV: a) aspecto geral do edifício; b) detalhe do sistema de desvinculação da alvenaria.	74
Figura 68 - Detalhe construtivo do fechamento lateral das vigas de aço utilizados na CEAD/UFV.	75
Figura 69 – Aspecto do fechamento lateral das vigas de aço após a execução na CEAD/UFV.	76
Figura 70 – Edifício da CEAD/UFV: Aspecto geral e detalhes do tratamento com manta de elastômero EPDM.	77
Figura 71 – Edifício do CCBII / UFV: a) aspecto geral antes da recuperação; b) aspecto geral após a recuperação; c) interface entre SVVE e viga de aço antes da recuperação; d) interface entre SVVE e viga de aço após a recuperação; e) interface entre SVVE e elemento do contraventamento antes da recuperação; f) interface entre SVVE e7 elemento do contraventamento após a recuperação.	79
Figura 72 - Esquema do ensaio de simulação de chuva in loco, em uma fachada do Edifício do CCB-II.....	80
Figura 73 – Aspecto geral do ensaio de incidência de chuva em uma das fachadas Edifício do CCB-II.	81
Figura 74 - Aspecto da interface INT1-JV1-E1: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.....	83
Figura 75 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço na interface INT1-JV1-E1, durante os ciclos C5 a C9.	83
Figura 76 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço medidos no ciclo 1 do ensaio, na interface INT1-JV1-E1.	84

Figura 77 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E1, logo após o final da fase de aquecimento.....	85
Figura 78 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E1, instantes antes do final da fase de aquecimento.	86
Figura 79 - Aspecto da interface INT1-JV1-E2: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.....	88
Figura 80 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e perfil de aço na interface INT1-JV1-E2, durante os ciclos C6 a C10.	88
Figura 81 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço medidos no ciclo 7 do ensaio, na interface INT1-JV1-E2.	89
Figura 82 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E2, logo após o final da fase de aquecimento.....	90
Figura 83 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E2, instantes antes do final da fase de aquecimento.	91
Figura 84 – Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E1, durante o ensaio de estanqueidade à água.	93
Figura 85 – Aspecto da base do perfil de aço da interface INT1-JV1-E1 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.	93
Figura 86 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E2, durante o ensaio de estanqueidade à água.	94
Figura 87 - Aspecto da base do perfil de aço da interface INT1-JV1-E2 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.	95
Figura 88 - Aspecto da interface INT2-JH1/JH3-E1: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.....	98

Figura 89 - Deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço na interface INT2-JH3-E1, durante os ciclos C6 a C8.	98
Figura 90 - Deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço medidos no ciclo 1 do ensaio, na interface INT2-JH3-E1.	99
Figura 91 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT2-JH1/JH3-E1, logo após o final da fase de aquecimento.	100
Figura 92 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT2-JH1 / JH3-E1, instantes antes do final da fase de aquecimento.....	101
Figura 93 - Aspecto da interface INT2-JH1/JH3-E2: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.	103
Figura 94 - Deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço na interface INT2-JH3-E2, durante os ciclos C1 a C5.	103
Figura 95 - Deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço medidos no ciclo 1 do ensaio, na interface INT2-JH3-E2.	104
Figura 96 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT2-JH1 / JH3-E2, logo após o final da fase de aquecimento.	105
Figura 97 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT2-JH1 / JH3-E2, instantes antes do final da fase de aquecimento.	106
Figura 98 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT2-JH1/JH3-E1, durante o ensaio de estanqueidade à água.	108
Figura 99 – Aspecto da região da interface INT2-JH1/JH3-E1 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.....	108
Figura 100 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT2-JH1/JH3-E2, durante o ensaio de estanqueidade à água.....	109

Figura 101 – Aspecto da região da interface INT2-JH1/JH3-E após a realização do ensaio de estanqueidade à água.....	109
Figura 102 - Aspecto da interface INT3-JV1-E1: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.....	112
Figura 103 – Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço na interface INT3-JV1-E1, durante os ciclos C1 a C2.	112
Figura 104 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço medidos no ciclo 7 do ensaio, na interface INT3-JV1-E1.	113
Figura 105 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E1, logo após o final da fase de aquecimento.....	114
Figura 106 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E1, instantes antes do final da fase de aquecimento.	115
Figura 107 - Aspecto da interface INT2-JH1/JH3-E2: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.....	117
Figura 108 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço na interface INT3-JV1-E2, durante os ciclos C1 a C5.	117
Figura 109 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço medidos no ciclo 2 do ensaio, na interface INT3-JV1-E2.	118
Figura 110 - Deslocamentos verticais relativos entre alvenaria e pilar de aço na interface INT3-JV1-E2, durante os ciclos C1 a C5.	119
Figura 111 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E2, logo após o final da fase de aquecimento.....	120
Figura 112 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E2, instantes antes do final da fase de aquecimento.	121

Figura 113 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E1, durante o ensaio de estanqueidade à água.	123
Figura 114 – Aspecto da base do perfil de aço da interface INT3-JV1-E1 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.	124
Figura 115 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E2, durante o ensaio de estanqueidade à água.	125
Figura 116 - Aspecto da base do perfil de aço da interface INT3-JV1-E2 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores mínimos do fator estatístico S_3 .	24
Tabela 2 –Valores do fator estatístico S_3 para diferentes períodos de retorno e probabilidades.	24
Tabela 3 – Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT1-JV1-E1.	82
Tabela 4 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT1-JV1-E2.	87
Tabela 5 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT2-JH1/JH3-E1.	97
Tabela 6 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT2-JH1/JH3-E2.	102
Tabela 7 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT3-JV1-E1.	111
Tabela 8 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT3-JV1-E2.	116
Tabela 9 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e perfil de aço máximos, de expansão, de contração e após estabilização do comportamento quanto aos deslocamentos, medidos em cada caso de interface.	126

RESUMO

BHERING, Alex de Freitas Bhering Cardoso, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Avaliação experimental do desempenho quanto à estanqueidade e durabilidade de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço sujeitas a envelhecimento acelerado.** Orientador: Gustavo Veríssimo de Souza.

Frequentemente, as construções em aço apresentam falhas nas interfaces entre os sistemas de vedação vertical externa (SVVE) e estrutura de aço. Isto tem gerado uma grande quantidade de manifestações patológicas nas construções em aço, causando a deterioração precoce da estrutura e diminuindo a vida útil da edificação. Deste modo, o tratamento das interfaces é de fundamental importância para se garantir o desempenho adequado quanto à durabilidade e estanqueidade do SVVE e da estrutura em aço. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho quanto à estanqueidade à água e durabilidade de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço utilizadas em SVVE, tratadas com manta de elastômero EPDM, sujeitas a envelhecimento acelerado. Foi realizado um programa experimental, onde o modelo utilizado é composto por um pórtico de aço e fechamento em alvenaria convencional de blocos cerâmicos, inserida no plano da estrutura, desvinculada e revestida com argamassa. Neste modelo foram representados três casos de interface típicos entre alvenaria e estrutura de aço. O modelo foi submetido ao ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, com objetivo de simular um envelhecimento acelerado. Foram monitorados também os deslocamentos relativos entre alvenaria e perfil de aço, no plano da parede. Posteriormente, o revestimento da face externa dos modelos foi pintado com tinta acrílica e, em seguida, realizado o ensaio de estanqueidade à água, simulando uma chuva associada a uma pressão de vento, por oito horas ininterruptas. Após os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico não foi observado nenhum tipo de deterioração na região das juntas tratadas. Os deslocamentos relativos observados indicam que a desvinculação das juntas permitiu a movimentação da alvenaria, sem causar danos aparentes às interfaces tratadas. Os resultados obtidos apontam um desempenho satisfatório quanto à durabilidade e estanqueidade à água das interfaces, indicando que o tratamento com manta de elastômero EPDM pode ser eficaz para evitar a passagem de água pelas interfaces entre alvenaria e perfis de aço, contribuindo para a garantia do desempenho quanto à durabilidade da estrutura em aço.

ABSTRACT

BHERING, Alex de Freitas Bhering Cardoso, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Experimental evaluation of the performance and durability of interfaces between masonry and steel structure subjected to accelerated aging.** Adviser: Gustavo de Souza Veríssimo.

Steel constructions often present flaws in interfaces between systems of vertical external sealing (SVES) and of steel structure. This has been creating large amounts of pathological manifestations in steel constructions, resulting in the precocious deterioration of the structure and diminishing the building's useful life. Therefore, the correct treatment of interfaces is of ultimate importance in ensuring proper performance regarding durability and sealing of the SVES and the steel structure. The goal of this work is to evaluate the performance regarding watertightness and durability of interfaces between masonry and steel structures employed in SVES, treated with a blanket of EPDM elastomer, subjected to accelerated aging. An experimental program was conducted, where the model consists of a steel gantry closed by masonry in conventional ceramic blocks, inserted in the structure's plane, separated from it and coated with mortar. In this model, three typical cases of interfacing between masonry and steel structures were represented. The model was subjected to a heat exposure and thermal shock test for the simulation of accelerated aging. Relative displacements between masonry and steel profile in the wall's plane were also monitored. Subsequently, the external coating on the outer faces of models was painted with acrylic paint and a watertightness test was performed through the simulation of rain associated with wind pressure for eight hours non-stop. In all three interface cases studied, no deterioration was observed in treated joints after the heat exposure and thermal shock tests. Relative displacements observed indicate the decoupling of joints allowed the masonry to move without causing apparent damage to treated interfaces. The absence of damp spots in the experimental model's inner faces after the watertightness test indicates that the acrylic paint successfully stopped water from passing through possible cracks created during the heat exposure and thermal shock tests. Results display a satisfactory performance regarding durability and watertightness of interfaces, indicating the treatment with EPDM elastomer can be effective for preventing water from passing through interfaces between masonry and steel profiles, contributing to ensure proper performance regarding the durability of steel structures.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1.	Objetivos	2
1.2.	Justificativa para desenvolvimento do trabalho	2
1.3.	Estrutura da dissertação.....	4
2	Fundamentação Teórica.....	5
2.1.	Considerações iniciais	5
2.2.	Aspectos gerais sobre sistemas de vedação vertical utilizados em estruturas de aço	5
2.3.	Manifestações patológicas típicas de sistemas de vedação vertical em alvenaria associadas às interfaces entre aço e alvenaria	7
2.4.	Classificação para sistemas de vedação vertical em alvenaria utilizadas em estruturas de aço	9
2.5.	Tratamentos típicos de interfaces	13
2.5.1.	Tratamento de juntas com uso de selantes à base de poliuretano	13
2.5.2.	Tratamento de juntas com de manta de elastômero EPDM, emulsão acrílica e tela de poliéster	14
2.6.	Avaliação de desempenho de sistemas de vedação vertical.....	16
2.6.1.	Considerações preliminares	16
2.6.2.	Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.....	17
2.6.3.	Ensaio de estanqueidade à água	19
3	Materiais e Métodos	26
3.1.	Considerações preliminares	26
3.2.	Descrição de casos recentes de aplicação de manta de elastômero EPDM para tratamento de juntas em interfaces	27
3.3.	Modelo experimental	28
3.3.1.	Características do modelo experimental	28

3.3.2.	Materiais componentes do modelo experimental	32
3.3.3.	Construção do modelo experimental	33
3.3.4.	Tratamento das juntas	40
3.4.	Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	44
3.4.1.	Equipamentos utilizados para execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.....	45
3.4.2.	Procedimento para execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	51
3.5.	Pintura das paredes.....	59
3.6.	Ensaio de estanqueidade à água	60
3.6.1.	Equipamentos utilizados para realização do ensaio de estanqueidade à água	60
3.6.2.	Procedimento para execução do ensaio de estanqueidade à água	62
4	Resultados e Discussão.....	67
4.1.	Descrição de casos recentes de obras	68
4.1.1.	Considerações preliminares	68
4.1.2.	Obras realizadas na UFMG.....	68
4.1.3.	Obras realizadas na UFV	70
4.1.4.	Discussão	81
4.2.	Interface INT1-JV-1	81
4.2.1.	Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	81
4.2.2.	Ensaio de Estanqueidade à Água	93
4.3.	Interface INT2-JH1/JH3.....	96
4.3.1.	Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	96
4.3.2.	Ensaio de Estanqueidade à Água	107
4.4.	Interface INT3-JV-1	110
4.4.1.	Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico	110

4.4.2.	Ensaio de estanqueidade à água.....	123
4.5.	Avaliação geral do comportamento das interfaces quanto aos deslocamentos relativos.....	126
5	Conclusões.....	128
5.1.	Considerações finais.....	128
5.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	130
	Referências Bibliográficas.....	131
	APÊNDICE A.....	135

1

Introdução

A busca por sistemas construtivos alternativos às construções em concreto armado com fechamento em alvenaria convencional de blocos cerâmicos tem crescido nos últimos anos no Brasil. O uso de estruturas em aço, por exemplo, tem crescido consideravelmente. Evidentemente que sistemas diferentes possuem comportamentos distintos e devem ser tratados de forma específica durante sua concepção e execução, como é o caso dos sistemas de vedações verticais externos (SVVE), sobretudo nas interfaces alvenaria estrutura.

No entanto, por diversas vezes, soluções utilizadas no método tradicional são aplicadas erroneamente nos demais sistemas construtivos. Estes fatores contribuem para o surgimento das mais variadas manifestações patológicas nas edificações em estruturas de aço. Estudos realizados por Albrecht et al. (2008), Araújo (2010) e Santos (2016) mostram que as causas mais comuns de manifestações patológicas em obras de estruturas de aço estão relacionadas ao sistema de vedação vertical.

Segundo Santos (2016), nas construções em aço, os grandes vãos e as interfaces entre o fechamento e perfis da estrutura geram a necessidade do desenvolvimento de um projeto de vedação vertical que seja capaz de absorver os deslocamentos nas estruturas para impedir a entrada de água nas fachadas sem gerar conflito entre a arquitetura, estrutura e os diversos tipos de instalações.

Diversos trabalhos (COELHO 2004; ARAUJO 2010; SANTOS 2016) propõem soluções para interfaces entre estruturas de aço e alvenaria de modo a eliminar ou minimizar as causas das manifestações patológicas. Destes trabalhos destaca-se o proposto por Santos (2016), que apresenta recomendações para projeto e detalhamentos de juntas e interfaces utilizadas em sistemas de vedação vertical em alvenaria para estrutura de aço com detalhes ricos de informações para sua execução. O autor ainda propõe um tratamento para as interfaces e juntas para o sistema de vedação vertical externo com a utilização de

mantas de elastômero EPDM (material etileno-propileno-dieno-monômero), tela de poliéster e emulsão acrílica.

Neste contexto, surge a necessidade de avaliação do desempenho das vedações verticais nas fachadas dos edifícios. Como referência para a avaliação tem-se a ABNT NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais: Desempenho; que tem como objetivo regulamentar e avaliar o desempenho de edificações por meio de análise de projeto, simulação computacional, ensaios experimentais e inspeções técnicas.

1.1. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o desempenho quanto à estanqueidade à água e durabilidade de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço utilizadas em sistemas de vedação vertical externo (SVVE), tratadas com manta de elastômero EPDM e sujeitas a envelhecimento acelerado.

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- avaliar a deterioração de juntas em interfaces entre alvenaria e aço em modelos experimentais de paredes submetidos a envelhecimento acelerado;
- avaliar o desempenho quanto à estanqueidade em modelos experimentais de paredes, após terem sido submetidos a envelhecimento acelerado;
- avaliar a movimentação relativa na interface entre alvenaria e estrutura de aço, provocada pela exposição à ação do calor e choque térmico;
- avaliar a aplicabilidade do uso do método de tratamento de interfaces com manta de elastômero EPDM em obras novas e existentes.

1.2. Justificativa para desenvolvimento do trabalho

Apesar do avanço consistente das construções em aço, pode-se observar que existe uma certa insatisfação relativa ao desempenho quanto à estanqueidade e durabilidade dessas edificações durante sua vida útil. Em muitos casos, esta insatisfação é sumariamente atribuída à utilização de uma estrutura de aço. Neste cenário, por muitas vezes a solução em estrutura de aço para edifícios de múltiplos andares é preterida em relação a outros processos construtivos.

De acordo com Santos (2016), boa parte das manifestações patológicas observadas nas construções em aço, como corrosão dos perfis e deterioração do revestimento das paredes, é causada por falhas nas juntas e interfaces entre alvenaria e estrutura de aço, que permitem a passagem de água por meio do sistema de vedação vertical.

Coelho (2004) afirma que os critérios e conceitos de projeto não têm acompanhado a evolução dos produtos e sistemas aplicados na produção de vedações para edifícios. Consequentemente, o número de manifestações patológicas tem aumentado e gerado insatisfação dos usuários.

Portanto, pode-se afirmar que grande parte dos problemas patológicos observados nas construções em aço se origina na concepção dos projetos básicos e executivos de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). É comum se deparar com concepções equivocadas de juntas e interfaces entre alvenaria e estrutura de aço e com a definição de metodologias inadequadas para o tratamento das mesmas.

Em boa parte dos casos observados, a concepção, detalhamento e especificação de materiais para juntas e interfaces têm sido realizados, quase que exclusivamente, com base em boas práticas de engenharia recomendadas em manuais técnicos.

Desta forma, é de grande importância desenvolver recomendações construtivas para o projeto de juntas e interfaces, métodos para tratamento das mesmas e processos de avaliação do seu desempenho construtivo.

Até o momento não se dispõe de recomendações construtivas que permitam projetar juntas e interfaces de forma racional. Em função disso, uma alternativa consistente para se avançar no desenvolvimento de soluções construtivas adequadas é avaliar o desempenho quanto à durabilidade e estanqueidade à água de juntas e interfaces, por meio de ensaios experimentais.

Com a entrada em vigor da ABNT NBR 15.575:2013 foram estabelecidos critérios e requisitos para avaliação do desempenho de sistemas de vedação vertical interno e externo de edificações ou de seus elementos. A Parte 4 dessa norma se refere à avaliação do desempenho de sistemas de vedação vertical internas e externas (SVVIE). Apesar desta norma não fazer referência explícita às juntas e interfaces, os métodos prescritos na

mesma podem ser tomados como base para a avaliação de desempenho de juntas e interfaces que compõem os sistemas de vedação utilizados em estruturas de aço.

Portanto, o presente trabalho está alinhado com demandas observadas no contexto das construções em aço, de forma a validar soluções construtivas que possam garantir a qualidade e a durabilidade das construções.

1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos, nos quais se descrevem as etapas do estudo realizado.

No Capítulo 1 apresentam-se os objetivos, justificativa para o trabalho e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 apresenta-se a fundamentação teórica do trabalho, que abrange uma revisão bibliográfica sobre a classificação do sistema de vedação vertical em alvenaria utilizados para estrutura de aço, as interfaces típicas entre alvenaria e estrutura em aço, tratamentos típicos em interfaces e ensaios de avaliação de desempenho quanto à estanqueidade à água e de exposição à ação do calor e choque térmico.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, o projeto de execução das interfaces e juntas, a construção do modelo experimental, o tratamento das juntas nas interfaces e os procedimentos do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e do ensaio de estanqueidade à água.

No Capítulo 4 apresenta-se inicialmente uma descrição de alguns casos recentes de obras realizadas na UFMG e na UFV nas quais utilizou-se o tratamento de juntas com manta de elastômero EPDM. Em seguida são apresentados os resultados e discussão dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e de estanqueidade à água, agrupados em função do tipo de interface e tipo de junta utilizado.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2

Fundamentação Teórica

2.1. Considerações iniciais

Neste capítulo apresenta-se uma síntese de aspectos relacionados aos sistemas de vedação vertical normalmente utilizados em estruturas de aço, com destaque para o sistema em alvenaria de blocos cerâmicos. A fim de se evidenciar a necessidade de realizar um tratamento adequado das interfaces entre alvenaria e estrutura de aço, são apresentadas manifestações patológicas típicas associadas a falhas ou falta de um tratamento.

Apresenta-se também uma classificação dos sistemas de vedação vertical em alvenaria, a partir do qual pode-se sistematizar detalhes construtivos típicos. Em seguida são apresentados os tratamentos típicos de juntas presentes nas interfaces entre alvenaria e estrutura de aço e alguns casos de obras já executadas com juntas tratadas com manta de elastômero EPDM.

Por último, são apresentados alguns conceitos atuais para avaliação de desempenho de sistemas de vedação vertical, com base nas prescrições da ABNT NBR 15.575-4:2013

2.2. Aspectos gerais sobre sistemas de vedação vertical utilizados em estruturas de aço

A construção em aço proporciona diversas vantagens como redução de tempo de execução, alívio de cargas na fundação, racionalização de materiais e mão de obra, dentre outras. Boa parte desta agilidade no processo construtivo pode ser obtida com a utilização de sistemas de vedação vertical externo e interno de maior grau tecnológico, como painéis pré-moldados, *steel frame*, pele de vidro, dentre outros.

A escolha adequada dos sistemas de vedação vertical é de grande importância no desempenho da edificação. Santos (2016) afirma que estes sistemas são responsáveis pela volumetria e compartimentação dos espaços de uma edificação, funcionando com uma barreira de proteção para os usuários contra os agentes ambientais externos e interferindo diretamente no conforto térmico.

Segundo Santos (2016), normalmente, os sistemas de vedação vertical externo utilizados em edifícios de múltiplos andares em estrutura de aço são constituídos por:

- painéis – de concreto, de materiais cimentícios, de vidro, de alumínio, de gesso, de madeira, etc.;
- paredes moldadas *in loco* – tipo cortina, alvenaria desvinculada e alvenaria vinculada.

Em locais como Estados Unidos, Europa e Canadá, o uso de painéis pré-fabricados e sistemas de construção seca, tipo *Light Steel Framing*, são amplamente difundidos. Além de se tratar de uma alternativa de fechamento de grande velocidade de execução, a utilização destes painéis vai ao encontro da proposta de racionalização da construção, que é uma tendência nos países desenvolvidos (ARAÚJO, 2010).

No Brasil, o sistema de vedação vertical em alvenaria de blocos cerâmicos continua sendo utilizado com grande frequência nas construções em aço. De acordo com Santos (2016), a escolha pelo sistema de fechamento tradicional em alvenaria se deve ao custo inferior em relação a outras soluções, além de não exigir mão de obra especializada. Outra questão apontada por esta autora é a tradição cultural de construção com alvenaria de blocos cerâmicos no Brasil.

Além dos aspectos destacados, em grande parte dos casos, a alvenaria de blocos cerâmicos para vedação de estruturas de aço tem sido aplicada de forma semelhante ao que se faz em estruturas de concreto, sem a devida atenção aos detalhes construtivos necessários para sua aplicação nas estruturas de aço. Coelho (2004) afirma que a aplicação do fechamento vertical em alvenaria na construção em aço, realizada da mesma forma que em estruturas de concreto, se torna ineficaz tecnicamente, acarretando problemas patológicos nas interfaces entre a alvenaria e estrutura. Esse autor destaca também a importância de se adaptar os detalhes e métodos construtivos específicos a cada processo, com o devido tratamento das interfaces entre alvenaria e estrutura de aço.

A interface entre alvenaria e estrutura de aço é caracterizada pela região de transição entre materiais distintos, que não podem ser ligados entre si de forma direta. Existem diferenças de comportamento físico e mecânico entre os materiais, que estão sujeitos a variações de condições ambientais e esforços mecânicos.

Laska (1993) afirma que a alvenaria e o aço utilizados nas construções estão em constante estado de movimentação devido a variações volumétricas oriundas da alteração de temperatura e deformações, resultantes da atuação de ações estáticas e dinâmicas. Esse autor afirma ainda que essas variações volumétricas ocorrem de forma diferente, de acordo com as propriedades físicas de cada material. Como resultado, ocorre uma movimentação diferencial quando dois materiais são empregados de forma associada.

Com base nas evidências anteriores, pode-se observar que a interface entre materiais distintos deve ser tratada de forma adequada, permitindo que as movimentações diferenciais entre os materiais possam ocorrer, sem proporcionar principalmente a entrada de água por meio do fechamento, o que normalmente é a causa principal das manifestações patológicas identificadas nas estruturas de aço.

2.3. Manifestações patológicas típicas de sistemas de vedação vertical em alvenaria associadas às interfaces entre aço e alvenaria

As interfaces entre alvenaria e estrutura de aço presentes nos sistemas de vedação vertical em alvenaria são compostas por juntas horizontais e verticais. Conforme descrito no item 2.2, é necessário que estas juntas sejam tratadas de forma adequada para se evitar a passagem de água por meio das interfaces entre aço e alvenaria.

Albrecht et al. (2008) apresentaram diversas manifestações patológicas em uma edificação em estrutura de aço. Em grande parte, as manifestações patológicas identificadas no edifício avaliado por esses autores estão relacionadas ao sistema de vedação vertical, principalmente na interface entre a alvenaria e estrutura. Na Figura 1 apresenta-se um aspecto geral deste edifício que evidencia a degradação visual de uma das fachadas e o alto grau de corrosão em um perfil de aço.

Figura 1 – Manifestações patológicas associadas a problemas no sistema de vedação vertical.



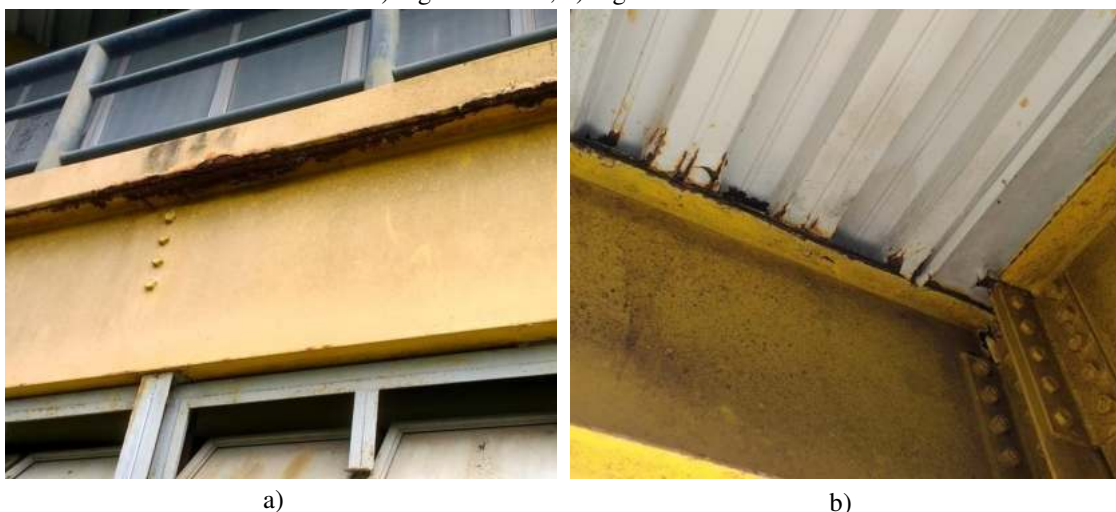
a)

b)

Fonte: Acervo José Luiz Rangel Paes.

As manifestações patológicas podem ocorrer também na interface entre a estrutura e a laje que compõe o sistema de piso. Na Figura 2 pode-se observar o elevado grau de corrosão em elementos estruturais e não estruturais, nas regiões externa e interna, próximo à interface entre viga de aço e arremate lateral da laje em *steel deck*.

Figura 2 - Manifestações patológicas próximo à interface entre viga de aço e laje em steel deck :
a) região externa; b) região interna.



a)

b)

Fonte: Autor.

Santos (2016) realizou um estudo em um edifício para fins institucionais situado no *campus* de Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no qual fez um amplo levantamento das manifestações patológicas. De acordo com esse estudo, foram identificadas manifestações patológicas como fissuras na alvenaria, presença de fungos e corrosão dos perfis de aço. Todas estas manifestações estavam relacionadas, principalmente, à entrada de água por meio das interfaces entre a alvenaria e a estrutura de aço (Figura 3 e Figura 4).

Figura 3 – Região com corrosão na interface entre revestimento e perfil de aço:
a) exterior da edificação com corrosão no perfil,
b) interior da edificação com corrosão no perfil e mofo no revestimento.



Fonte: SANTOS (2016).

Figura 4 – Regiões de corrosão na interface entre o sistema de vedação e o perfil de aço.



Fonte: SANTOS (2016).

2.4. Classificação para sistemas de vedação vertical em alvenaria utilizadas em estruturas de aço

Uma forma de executar projetos e detalhes construtivos, que sejam compatíveis com o grau de movimentação e tipos de materiais envolvidos em uma interface, é classificar o sistema de vedação de acordo com algumas características. Neste sentido, Santos (2016) propôs uma classificação de sistemas de vedação vertical em alvenaria utilizadas em estruturas de aço para auxiliar na concepção de projetos de detalhamentos de juntas e interfaces em construções em aço. Esta classificação é baseada em três parâmetros, sendo eles a continuidade dos panos, o posicionamento da alvenaria em relação à estrutura e a

rigidez das ligações alvenaria-estrutura em aço. Um esquema desta classificação é apresentado na Figura 5.

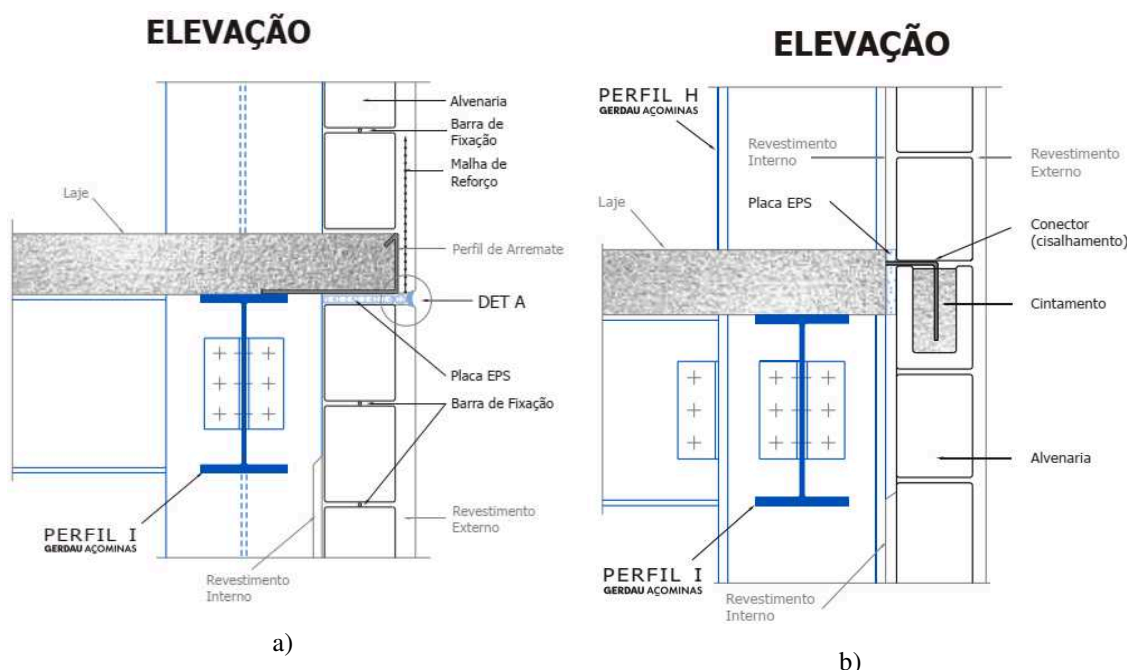
Figura 5 - Classificação das alvenarias segundo os parâmetros de rigidez das ligações, posicionamento em relação à estrutura e continuidade dos panos.



Fonte: Santos (2016).

Quanto à continuidade dos panos pode-se classificar as paredes formadas por panos contínuos e por panos descontínuos. Nas paredes formadas por panos descontínuos, a divisão dos panos é feita por elementos estruturais, gerando a necessidade de tratamento das interfaces entre os elementos estruturais e a alvenaria. Nos casos de paredes formadas por panos contínuos, a alvenaria não é interrompida por um elemento estrutural. Na Figura 6 é apresentado um esquema com indicação de paredes formadas por panos descontínuos e por panos contínuos.

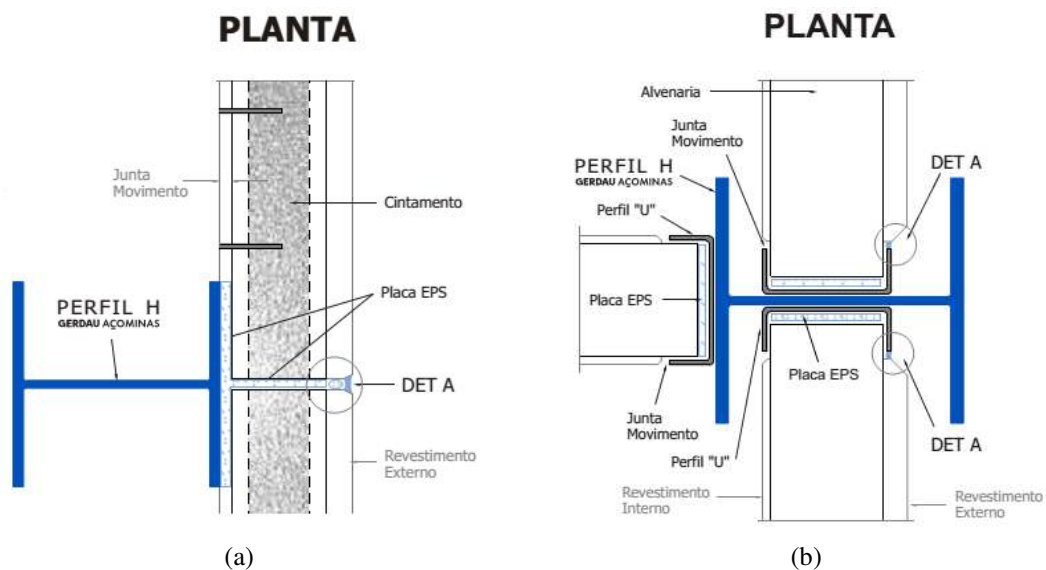
Figura 6 – Detalhes de paredes para diferentes situações quanto à continuidade dos panos:
a) formadas por panos descontínuos, b) formada por panos contínuos.



Fonte: Coelho (2004).

Quanto à posição da alvenaria em relação à estrutura, os fechamentos são classificados como inseridos no plano da estrutura e fora do plano da estrutura (Figura 7). No caso das alvenarias inseridas fora do plano das estruturas, a alvenaria pode ser posicionada externamente ou internamente ao plano estrutural. Nestes casos o número de interfaces é reduzido se comparado à alvenaria inserida no plano da estrutura.

Figura 7 - Detalhes de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço para diferentes alternativas de posicionamento em relação à estrutura:
a) alvenaria fora do plano da estrutura, (b) alvenaria no plano da estrutura.



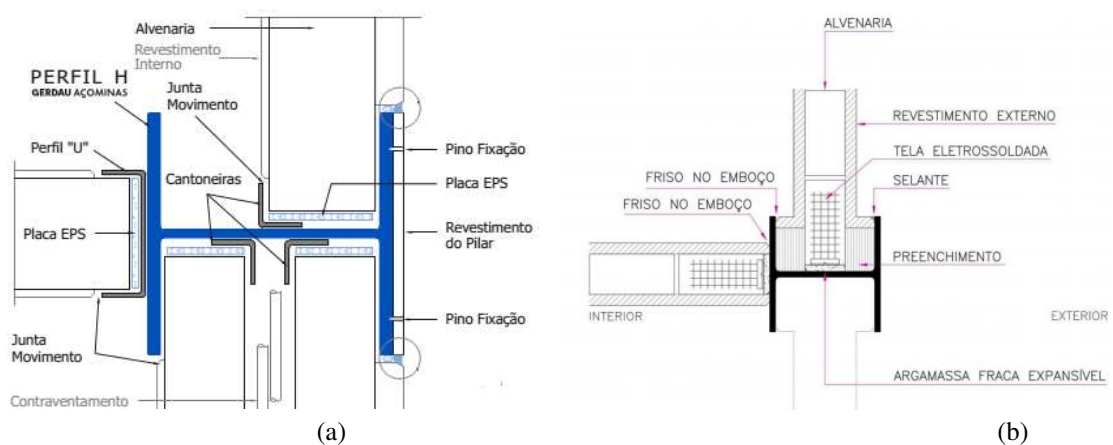
Fonte: COELHO (2004).

Quanto à rigidez das ligações, Santos (2016) classifica as alvenarias como alvenarias vinculadas e desvinculadas. A alvenaria é considerada vinculada quando o aço e alvenaria trabalham em conjunto, ou seja, a alvenaria está ligada solidariamente à estrutura. Este tipo de vinculação é bastante comum entre alvenaria e estrutura de concreto armado, podendo também ser utilizada em estruturas de aço. A vinculação pode ser feita por meio de barras de aço ou telas metálicas fixadas ao elemento estrutural e assentadas nas juntas horizontais da alvenaria. Nestes casos, a alvenaria tende a acompanhar os deslocamentos que a estrutura vier a sofrer.

Em alvenarias desvinculadas existe uma ligação entre alvenaria e estrutura, no entanto, essa ligação permite que cada material trabalhe de forma independente. Nestes casos, quando a alvenaria for contida no plano da estrutura, em todas as interfaces entre alvenaria e a estrutura de aço devem ser previstas juntas de movimentação. Na Figura 8 é apresentado um detalhe de alvenaria vinculada e desvinculada à estrutura.

Figura 8 - Detalhe de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço para diferentes situações quanto à vinculação com a estrutura:

a) alvenaria desvinculada, b) alvenaria vinculada.



Fonte: COELHO (2004); SANTOS (2016).

Em situações de alvenaria desvinculada, a movimentação da alvenaria não está atrelada à estrutura, no entanto a interface entre aço e alvenaria deve receber um tratamento adequado de modo a evitar a ação de agentes patológicos. Segundo Coelho (2004), o sistema de alvenaria desvinculado possui alto grau de confiabilidade, o que reduz significativamente o nível de manifestações patológicas.

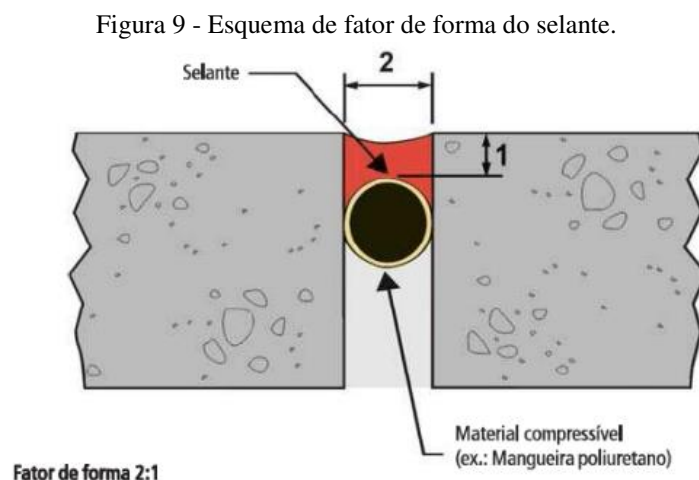
2.5. Tratamentos típicos de interfaces

Algumas metodologias para tratamentos de juntas em interfaces entre sistemas de vedação vertical e estrutura em aço são apresentadas em manuais técnicos. Dentre os tratamentos usuais, destacam-se o tratamento com selantes à base de poliuretano e o tratamento com uso de manta de elastômero EPDM, sobreposta com tela de poliéster e emulsão acrílica, proposto por Santos (2016).

2.5.1. Tratamento de juntas com uso de selantes à base de poliuretano

Os selantes à base de poliuretano são materiais flexíveis aplicados nas juntas dos fechamentos verticais de modo que acompanhem as deformações dos elementos sem causar fissura impedindo a entrada de água.

Beltrame e Loh (2009) recomendam que o selante esteja aderido às faces paralelas da junta, acompanhando os movimentos dos substratos. Para que isto ocorra o selante não deve estar aderido à face inferior da junta, por este motivo é necessário que antes da aplicação do tratamento, seja utilizado um delimitador que não seja aderente ao selante. Por fim, deve-se aplicar o selante respeitando o fator de forma, que é a relação entre a largura e a profundidade da seção da junta onde for aplicado o tratamento com o selante. Na Figura 9 apresenta-se um esquema do fator de forma do selante.



Fonte: Beltrame e Loh (2009).

A execução correta do fator de forma do selante à base de poliuretano é importante para garantir a eficiência e durabilidade do tratamento das juntas. Este serviço demanda precisão na sua aplicação, por isto, em algumas situações a qualidade da aplicação pode

ser prejudicada. Casos em que as superfícies laterais da interface não são uniformes, fachadas elevadas e a velocidade inadequada de aplicação do selante podem causar problemas no aspecto final do acabamento e diminuir a eficiência e durabilidade do tratamento. Na Figura 10 pode-se observar o aspecto de uma junta tratada com selante à base de poliuretano.

Figura 10 - Aspecto de uma junta vertical tratada com selante.



Fonte: Santos (2016).

2.5.2.Tratamento de juntas com de manta de elastômero EPDM, emulsão acrílica e tela de poliéster

Uma alternativa ao uso de selantes para tratamento de juntas é a aplicação de manta de elastômero EPDM (etileno - propileno – dieno – monômero), sobreposta com tela de poliéster e emulsão acrílica. Este material apresenta características positivas como grande elasticidade e impermeabilidade.

Conforme descrito por Santos (2016), no contexto brasileiro, o tratamento de juntas em interfaces entre alvenaria e estrutura de aço com o uso de manta de elastômero EPDM foi inicialmente utilizado em obras da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Posteriormente, este material passou a ser aplicado em obras da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e se tornou objeto de estudo no Grupo de Pesquisa de Engenharia da Construção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFV.

Santos (2016) propôs a utilização de manta de elastômero EPDM juntamente com emulsão acrílica e tela de poliéster para tratamento de juntas nas interfaces entre o sistema

de vedação vertical e estrutura em aço, principalmente em locais onde existe movimentação relativa entre os materiais. Na Figura 11 pode-se observar alguns dos materiais utilizados na aplicação do tratamento com manta de elastômero EPDM.

Figura 11 – Materiais utilizados na aplicação do tratamento com manta de elastômero EPDM: a) manta de elastômero EPDM; b) fita de caldeação; c) manta de elastômero EPDM aderida à fita de caldeação; d) tela de poliéster.



Fonte: Autor.

A aplicação deste sistema consiste na seguinte metodologia:

- preparação da superfície de aplicação (limpeza);
- aplicação de adesivo na superfície de aplicação;
- fixação da manta de elastômero EPDM;
- Aplicação de tela de poliéster juntamente com emulsão acrílica para proporcionar proteção mecânica à interface;

O tratamento com o uso manta de elastômero EPDM é um serviço que exige mão de obra qualificada e deve ser executado de acordo com procedimentos recomendados. Apesar

do rigor necessário para aplicação da manta de elastômero EPDM, sua execução não requer tanta precisão quanto à aplicação de selantes. Em função disso, pode-se observar que os tratamentos com manta de elastômero EPDM geralmente não apresentam falhas de execução, se comparados ao que se observa nos tratamentos com selantes (SANTOS, 2016; FRANCO, 2019).

2.6. Avaliação de desempenho de sistemas de vedação vertical

2.6.1. Considerações preliminares

O desempenho de uma edificação está relacionado ao seu comportamento durante sua utilização. A avaliação do desempenho tem como objetivo verificar se um sistema é capaz de cumprir as funções de maneira satisfatória as quais tenham sido projetadas (BELTRAME, 2009).

Quintela (2006) afirma que a vida útil e durabilidade é o período de tempo durante o qual determinado elemento responde às exigências de serviço que lhe são colocadas, para determinadas condições de uso.

Segundo Oliveira et al. (2014, p. 2), “uma das exigências mais importantes e complexas quando se trata de desempenho das edificações é a durabilidade dos produtos, seja de materiais, de componentes e, principalmente, de sistemas construtivos”. A durabilidade, por sua vez, está relacionada às manutenções e às condições de utilização ou do ambiente as quais a edificação está envolvida.

Para se avaliar o desempenho de um sistema por meio de ensaios, deve-se criar um modelo físico de mesmas medidas ou proporções e simular o quanto melhor as condições externas ao problema.

Como critério para avaliação de desempenho dos SVVE, a ABNT NBR 15.575-4:2013 estabelece que sejam verificados e atendidos onze quesitos: Impacto de corpo-mole nos sistemas de vedações verticais internas e externas, com ou sem função estrutural; ações transmitidas por portas; impacto de corpo duro incidente nos SVVIE, com ou sem função estrutural; cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeitos de janela; infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas); umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel; adequação de

paredes externas; aberturas para ventilação; níveis de ruído admitidos na habitação; vida útil de projeto dos sistemas de vedações verticais internas e externas; manutenibilidade dos sistemas de vedações verticais internas e externas.

Em relação ao desempenho quanto à estanqueidade, a ABNT NBR 15.575-4:2013 estabelece que os SVVE devem ser estanques à água proveniente de chuvas incidentes, ou de outras fontes, inclusive considerando a velocidade característica e direção do vento na região. Essa norma estabelece ainda que os projetos devem indicar todos os detalhes executivos dos pontos de interface do sistema e, na avaliação de corpos-de-prova, estes devem reproduzir fielmente o projeto, com as especificações e características construtivas do SVVE como janelas, caixilhos e juntas entre os elementos.

Conforme Santos (2016), “estes requisitos se relacionam com o projeto de alvenaria e o detalhamento de juntas e interfaces, uma vez que a ausência desses elementos certamente levará a não adequação quanto aos níveis de desempenho esperados”.

Outro ponto importante na avaliação do desempenho é a durabilidade dos sistemas construtivos, para isso deve-se definir os agentes agressivos que podem afetar o sistema construtivo ao longo do tempo. Uma das dificuldades para avaliação de durabilidade é a combinação de todos os fatores que atuam conjuntamente na degradação de um sistema construtivo e o tempo elevado que pode ser necessário para avaliação.

Uma forma de simular estas condições é a utilização de ensaios que simulam degradações de forma acelerada em modelos de sistemas construtivos. Estes ensaios são conhecidos como ensaios de envelhecimento acelerado.

Segundo Griciutė et al. (2013), os ensaios de envelhecimento natural e acelerado são extremamente importantes para a determinação das características de envelhecimento dos materiais e previsão sua vida útil.

2.6.2. Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

Uma das formas de simular de forma acelerada a ação do intemperismo em SVVE é por meio da aplicação de ciclos sucessivos de calor e resfriamentos bruscos. Estes ciclos sucessivos de calor e resfriamentos têm como objetivo simular as variações térmicas que podem ocorrer nas fachadas dos edifícios.

Segundo Oliveira et al. (2014), “o comportamento diante dessas ações (altas temperaturas, umidade, radiação solar, etc.) é particularmente significativo nos componentes localizados nas coberturas e nas fachadas dos edifícios”.

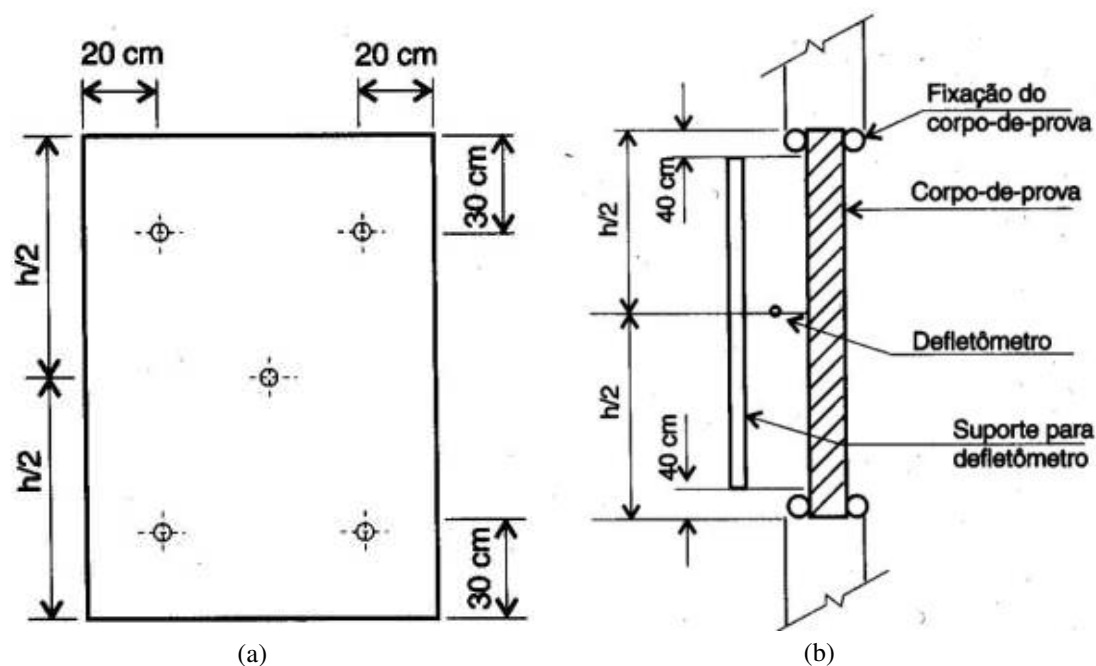
A ABNT NBR 15.575-4:2013 apresenta um método para avaliação de SVVE quanto ao desempenho quanto à durabilidade. Além do método proposto na norma brasileira, a avaliação do desempenho quanto à durabilidade também é prescrita em normas internacionais como a ETAG 004 (2008), ASTM C1185-8 (2012), AS/NZS 2908 (AUSTRALIAN, 2000), ISO 8336 (2009), dentre outras. Os procedimentos apresentados por normas diferem em alguns aspectos como temperatura máxima de aquecimento, duração de cada ciclo de exposição à ação do calor, superfície de medição da temperatura, duração do período de resfriamento, temperatura da água de resfriamento, dentre outros.

Algumas normas internacionais requerem que nos ciclos de aquecimento e resfriamento do ensaio para avaliação da durabilidade sejam aplicadas temperaturas inferiores a zero grau Celsius. Isto visa simular de forma mais adequada a realidade do clima de cada local. Segundo Oliveira et al. (2014), em países de clima tropical a ação de agentes de degradação, como altas temperaturas, umidade, radiação ultravioleta e agentes biológicos, tende a ser mais significativa.

O método especificado pela ABNT NBR 15.575-4:2013 em seu Anexo E, consiste em submeter o SVVE a ciclos sucessivos de exposição à ação de calor proveniente de fonte radiante e resfriamento por meio de jatos de água.

De acordo com este método, devem ser produzidos ao menos dois corpos de prova construídos com todos os detalhes construtivos para seu correto funcionamento, como juntas e acabamentos. Para medição do calor, devem ser posicionados cinco termopares na face externa da parede. Na face interna deve ser instalado um defletômetro de haste com precisão de 0,02 mm. Na Figura 12 apresenta-se um esquema do corpo de prova com os equipamentos para o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.

Figura 12 – Esquema de instrumentação do corpo de prova para o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico: a) posicionamento dos termopares; b) posicionamento do defletômetro.



Fonte: ABNT NBR 15.575-4 (2013).

O painel radiante deve ser capaz de fornecer calor de modo que a face externa da parede atinja a temperatura de $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$. Esta temperatura deve ser mantida por uma hora, após o que se deve realizar o resfriamento da parede com auxílio de aspersão de jatos de água, até que a temperatura na face externa atinja o valor de $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, o que define um ciclo do ensaio. Devem ser realizados dez ciclos para cada corpo de prova.

Durante o ensaio e após sua conclusão deve ser registrada a ocorrência de fissuras ou deteriorações na face interna e externa do corpo de prova. O deslocamento horizontal fora do plano deve ser medido decorridos 45 minutos da estabilização da temperatura na face externa em $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$.

2.6.3. Ensaio de estanqueidade à água

O objetivo do ensaio de estanqueidade à água é avaliar a penetração da água nos SVVE por meio da simulação de chuva por aspersão de água, com incidência simultânea de pressão vento.

No Anexo C da ABNT NBR 15.575-4:2013 é apresentado um método para avaliação da estanqueidade à água dos SVVE. Além deste método, existem outras referências em normas internacionais como o proposto pela ASTM E 514:2011 e a EN 12.865:2001. Os

procedimentos descritos nestas normas se diferem em alguns aspectos como vazão da aspersão de água, valor da pressão de vento, tempo de duração do ensaio, tamanho do corpo de prova, dentre outros. Além destes pontos, o método proposto pela EN 12.865:2001 difere das demais por especificar que a pressão de vento deve ser pulsante, variando ao longo do ensaio, e não constante, como prescrito na ABNT NBR 15.575-4:2013 e na ASTM E 514:2011.

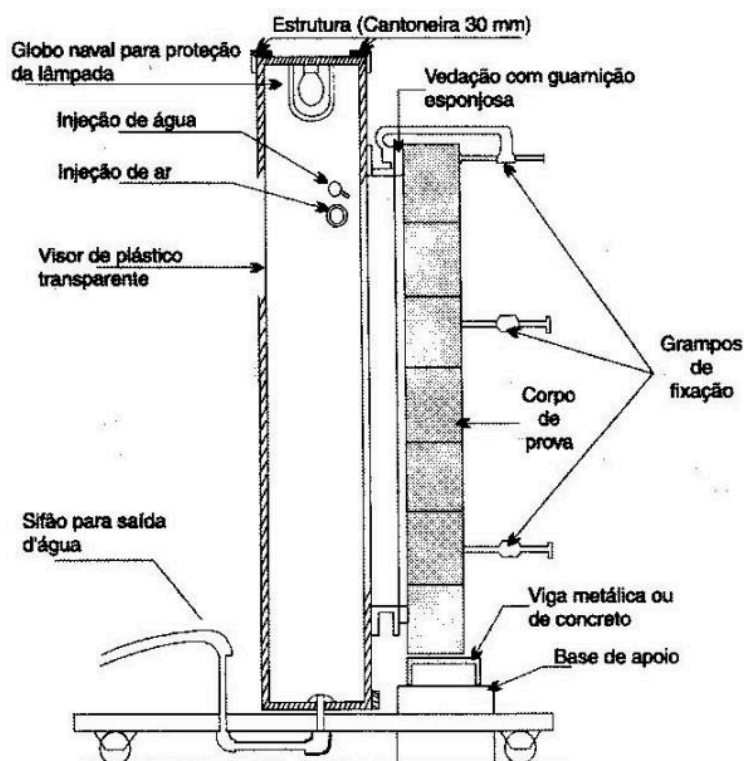
Sathler (2018) ressalta que o ensaio proposto pela ABNT NBR 15.575-4:2013 permite avaliar a estanqueidade de todo o sistema de vedação, que inclui blocos, argamassa de assentamento, revestimentos e tratamento de superfície.

O procedimento descrito no Anexo C da ABNT NBR 15.575-4:2013 consiste em submeter a face externa de um corpo de prova a uma vazão de água constante, de modo que seja criada uma película homogênea e contínua em sua superfície, com aplicação de uma pressão pneumática de forma simultânea.

O corpo de prova deve possuir dimensões mínimas de 105 cm de largura e 135 cm de altura. O ensaio pode ser realizado com ou sem a pintura da face externa da parede e o tempo de secagem da pintura não deve ser inferior a sete dias.

Para aspersão de água deve-se utilizar uma câmara prismática dotada de orifício na base para saída de água, com um sifão para formação de um fecho hídrico no interior da câmara. Além disso, deve-se dispor de orifícios para alimentação de água para aplicação de pressão e para aferição da pressão por meio de um manômetro. Na Figura 13 é apresentado um esquema da câmara para realização do ensaio de estanqueidade à água.

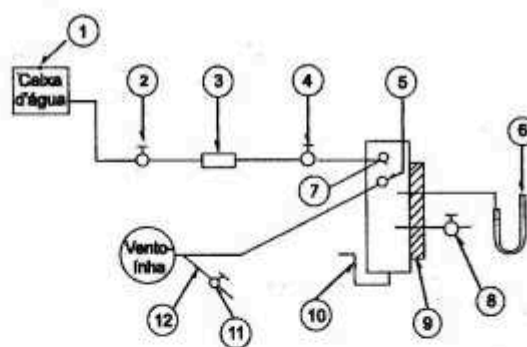
Figura 13 - Esquema da montagem do corpo de prova para o ensaio de estanqueidade à água.



Fonte: ABNT NBR 15.575-4 (2013).

A câmara de estanqueidade deve ser fixada ao corpo de prova com sua abertura voltada para a face externa da parede. As áreas de contato entre a câmara e a superfície do corpo de prova devem ser vedadas por guarnição esponjosa, empregando, onde necessário, cera de abelha ou algo similar. Após a fixação da câmara, aciona-se o sistema aspersor de água e o sistema de pressão pneumática. A aspersão de água e a pressão pneumática devem ser mantidas constantes por sete horas. Na Figura 14 apresenta-se um esquema geral do ensaio de estanqueidade à água, com a indicação dos equipamentos utilizados para realização do ensaio.

Figura 14 – Esquema geral de dispositivos para realização do ensaio de estanqueidade.



Legenda:

1. Bóia sensível (para manutenção do nível de água)
2. Registro de gaveta
3. Equipamento para medida de vazão
4. Registro globo para ajuste da vazão
5. Tubo injetor de ar DN 50 (faz a aspersão da água e pressuriza a câmara)
6. Manômetro diferencial para controle da pressão dentro da câmara
7. Tubo dispersor de água
8. Registro de gaveta (ajuste fino da pressão de ar dentro da câmara)
9. Corpo-de-prova
10. Saída de água (sifonada)
11. Registro de gaveta (ajuste de pressão)
12. Sangradouro

Fonte: ABNT NBR 15.575-4 (2013).

Conforme prescreve a ABNT NBR 15.575-4:2013 a vazão de água aspergida no interior da câmara de estanqueidade deve ser de $3,0 \pm 0,3 \text{ l/m}^2 \text{ min}$. Por outro lado, a pressão estática na câmara de estanqueidade deve estar entre 10 a 50 Pa, de acordo com as regiões geográficas descritas na ABNT NBR 6123:1988.

No decorrer do ensaio, deve-se registrar o tempo correspondente ao aparecimento da primeira mancha de umidade na face interna do corpo de prova ou na parte interior da parede, em casos de sistemas de fechamento com múltiplas camadas. Define-se como face interna a face oposta à face onde há incidência de água e pressão. Ao final do ensaio também deve ser registrada a porcentagem da área da mancha de umidade em relação à área total da face interna.

Nos relatórios do ensaio deve ser apresentada a identificação da parede, a argamassa de assentamento (quando for o caso), as dimensões do corpo de prova, a identificação da pintura (quando houver), as características dos equipamentos utilizados para medir a pressão e vazão, a data do ensaio e fazer referência explícita ao Anexo C da ABNT NBR 15.575-4:2013.

Sathler (2018) decidiu comparar a pressão estática na câmara de estanqueidade prescrita pela ABNT NBR 15.575-4:2013 com a pressão causada pelo vento, segundo a ABNT NBR 6123:1988. Para isto, realizou um estudo considerando a velocidade básica de vento $V_0 = 50$ m/s e um período de retorno de $T = 10$ anos. Essa velocidade básica corresponde à velocidade básica máxima de vento no Brasil, conforme estabelecido na ABNT NBR 6123:1988.

A ABNT NBR 6123:1988 estabelece que a velocidade básica do vento (V_0) é a velocidade de uma rajada de vento, com 3 s de duração, excedida em média uma vez em 50 anos, medida a 10 m acima do terreno em campo aberto e plano. A velocidade básica é determinada conforme a localização geográfica da edificação, variando entre 30 m/s e 50 m/s. A velocidade característica do vento (V_k) é determinada em função da velocidade básica (V_0), do fator topográfico (S_1), do fator de rugosidade (S_2) e do fator estatístico (S_3), de acordo com a seguinte Equação:

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (1)$$

A pressão dinâmica do vento (q) é obtida em função da velocidade característica do vento (V_k):

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (2)$$

Para obtenção da pressão dinâmica do vento (q), Sathler (2018) considerou uma velocidade básica de vento $V_0 = 50$ m/s, fator topográfico $S_1 = 1,0$ (relativo a um terreno plano) e fator de rugosidade $S_2 = 0,74$ (equivalente a uma edificação de Categoria V, Classe A e uma altura de 10 m acima do terreno).

Para determinação do fator estatístico S_3 , Sathler (2018) considerou o caso de vedações (painéis de vedação), que se enquadra no Grupo 4 definido na Tabela 1, apresentada no item 5.4 da ABNT NBR 6123:1988. Os valores indicados na Tabela 1 correspondem a um período de retorno de 50 anos e a uma probabilidade de 63% de a velocidade de vento ser igualada ou superada neste período. Com base nisto, para um período de retorno de 50 anos seria obtido um fator estatístico $S_3 = 0,88$.

Tabela 1 – Valores mínimos do fator estatístico S_3 .

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

Para obtenção do fator estatístico S_3 para um período de retorno $T = 10$ anos, Sathler (2018) considerou as disposições apresentadas no Anexo B da ABNT NBR 6123:1988. Na Tabela 2, apresentada no Anexo B da ABNT NBR 6123:1988 são indicados os valores de S_3 para diferentes períodos de retorno (T) e diferentes níveis de probabilidade de ocorrência do vento (P_m).

Tabela 2 – Valores do fator estatístico S_3 para diferentes períodos de retorno e probabilidades.

m (anos)	Valores de S_3 para P_m					
	0,1	0,2	0,5	0,63	0,75	0,9
2	0,86	0,76	0,64	0,6	0,57	0,53
10	1,1	0,98	0,82	0,78	0,74	0,68
25	1,27	1,13	0,95	0,9	0,85	0,79
50	1,42	1,26	1,06	1	0,95	0,88
100	1,58	1,41	1,18	1,11	1,06	0,98
200	1,77	1,57	1,31	1,24	1,18	1,09

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

De acordo com a Tabela 2, para um período de retorno $T = 10$ anos e uma probabilidade de 63% ($P_m = 0,63$), o fator estatístico $S_3 = 0,78$. Para considerar a influência desses fatores sobre o Grupo 4 da Tabela 1, multiplicou-se fator estatístico obtido (0,78) pelo valor indicado na referida Tabela (0,88), o que resultou em um fator estatístico $S_3 = 0,69$.

Com base nessas considerações, Sathler (2018) determinou a velocidade característica (V_k) e da pressão dinâmica do vento atuante (q) para o ensaio de estanqueidade à água:

$$V_k = 50 \times 1 \times 0,74 \times 0,69 = 25,53 \text{ m/s} \quad (3)$$

$$q = 0,613 \times 25,53^2 = 399,50 \text{ Pa} \approx 400 \text{ Pa} \quad (4)$$

O valor de pressão dinâmica do vento $q = 400 \text{ Pa}$ é mais próximo do valor prescrito na ASTM E 514:2011, que prescreve uma pressão dinâmica do vento $q = 500 \text{ Pa}$ para a realização do ensaio de estanqueidade à água.

3.1. Considerações preliminares

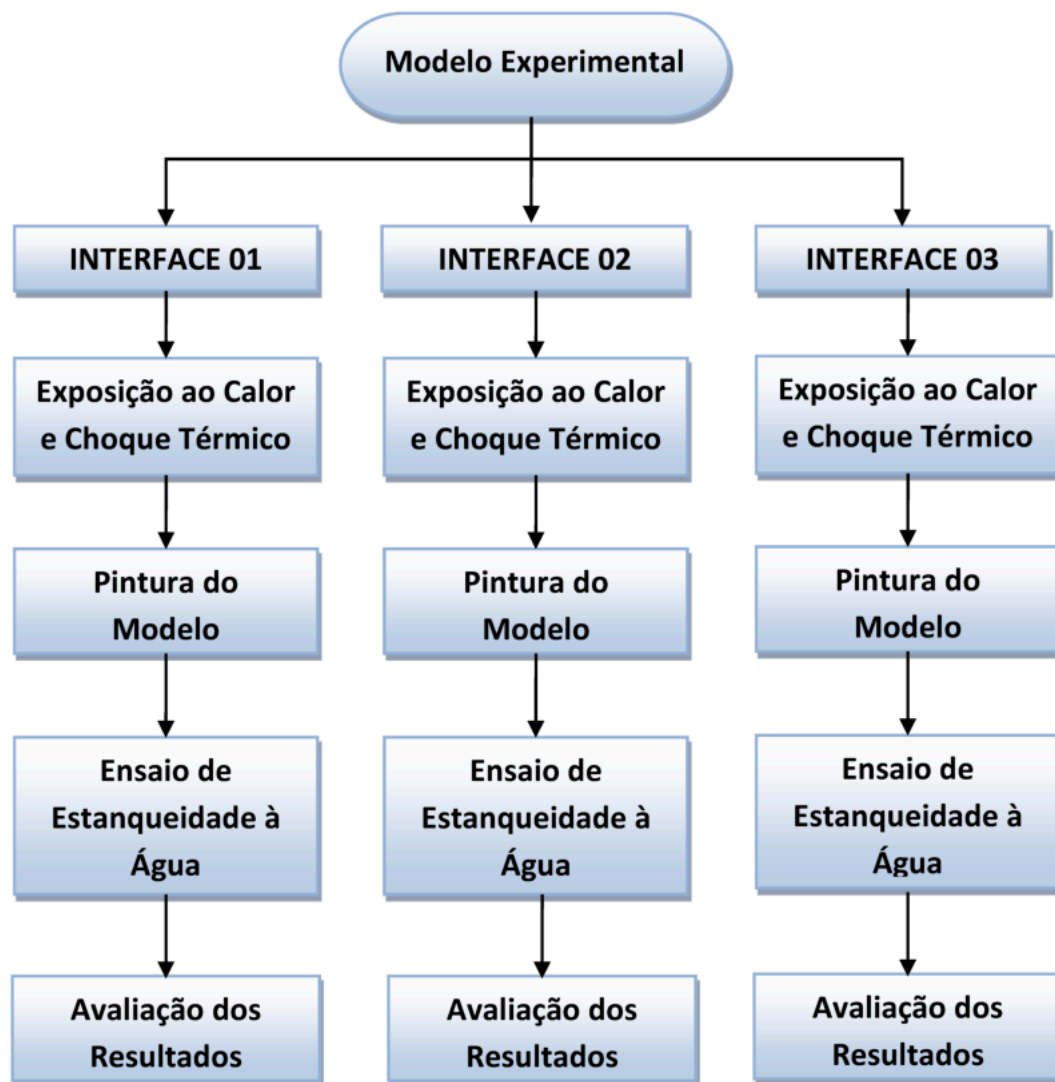
Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados no presente trabalho, envolvendo a descrição de casos recentes de aplicação de manta de elastômero EPDM para tratamento de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço, a concepção e construção dos modelos experimentais, as características dos materiais, as normas técnicas de referência, os equipamentos, a instrumentação e os procedimentos para execução dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e estanqueidade à água.

O programa experimental desenvolvido foi realizado nas seguintes etapas:

- 1 - concepção e construção de um modelo experimental com interfaces típicas de sistemas de vedação vertical externa (SVVE) em alvenaria para estruturas de aço;
- 2 - tratamento das juntas com manta de elastômero EPDM;
- 3 - execução de ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico;
- 4 - pintura do modelo experimental;
- 5 - execução do ensaio de estanqueidade à água.

Na Figura 15 apresenta-se um fluxograma com a síntese dos procedimentos realizados no modelo experimental.

Figura 15 - Fluxograma dos procedimentos realizados no modelo experimental.



Fonte: Autor.

3.2. Descrição de casos recentes de aplicação de manta de elastômero EPDM para tratamento de juntas em interfaces

A manta de elastômero EPDM foi originalmente desenvolvida para fins de impermeabilização de superfícies em geral. A partir de meados da primeira década dos anos 2000, esse material começou a ser aplicado para o tratamento de interfaces entre alvenaria e estruturas de aço em obras da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Esta solução foi utilizada, de forma pioneira, pelo técnico em impermeabilização João Dimas Quirino.

No ano de 2013, a convite da Pró-Reitoria de Administração da UFV, o técnico João Dimas Quirino colaborou com a introdução do uso do tratamento de juntas com manta de

elastômero EPDM em obras da UFV. A partir de então, a UFV tem utilizado essa solução para tratamento de juntas tanto em obras novas, quanto em obras de recuperação de edificações existentes.

A fim de exemplificar o tratamento de juntas com manta de elastômero EPDM, no presente trabalho optou-se por apresentar inicialmente uma descrição de alguns casos recentes de obras realizadas na UFMG e na UFV. Em todos casos relatados, a manta de elastômero EPDM foi aplicada segundo critérios técnicos recomendados pelos fabricantes, mas nenhuma avaliação de desempenho quanto à estanqueidade à água e durabilidade foi realizada até então.

3.3. Modelo experimental

3.3.1. Características do modelo experimental

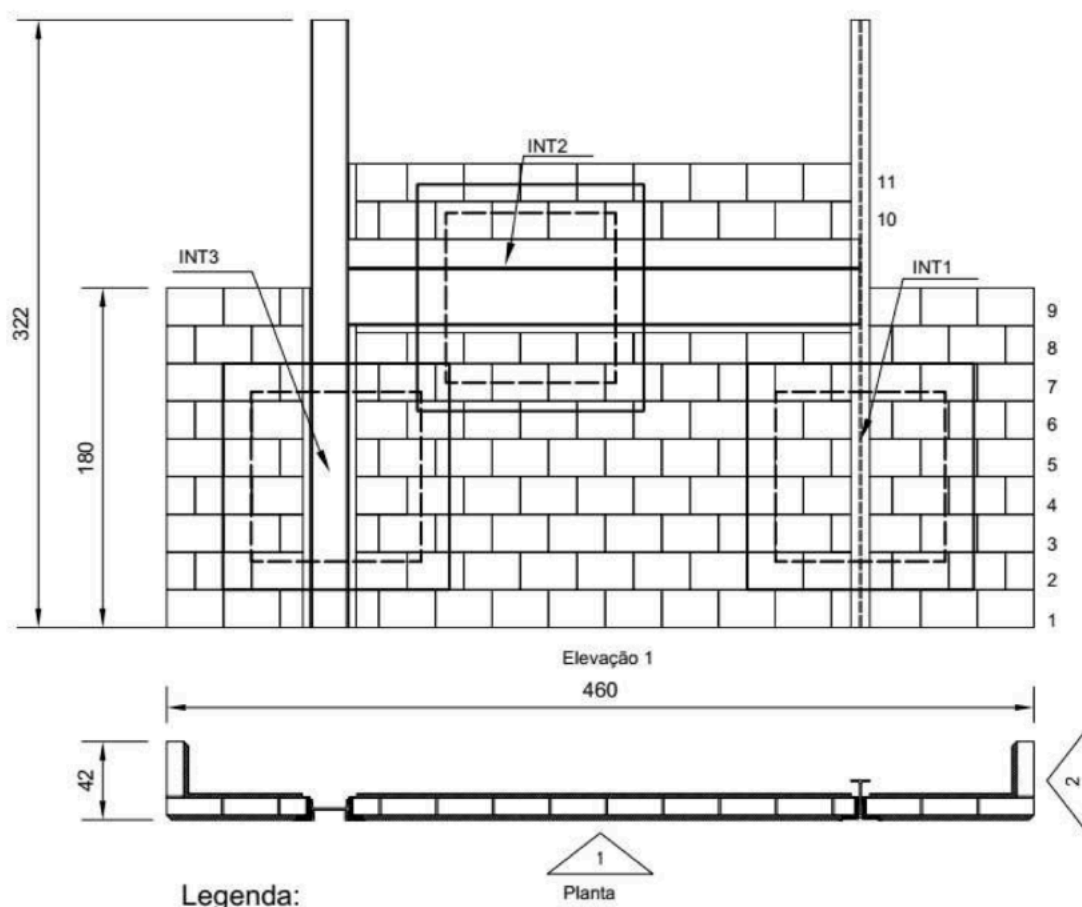
Para realização deste trabalho foi desenvolvido um modelo experimental em um galpão desativado, situado no campus de Viçosa da UFV. O modelo consiste em um pórtico em estrutura de aço e fechamento em alvenaria de blocos cerâmicos, revestidos com argamassa. Foram construídos dois exemplares com as mesmas características, de forma a dispor de duas repetições do modelo, conforme prescrito pela ABNT NBR 15.575-4:2013.

O tipo de SVVE utilizado no modelo experimental possui panos descontínuos, alvenaria desvinculada, inserida no plano da estrutura, conforme classificação proposta por Santos (2016), apresentada no item 2.4.

No modelo experimental foram representados três casos de interface típicos entre alvenaria e estrutura de aço. Os detalhes construtivos das interfaces foram propostos por Santos (2016) para construções em aço com fechamento em alvenaria.

Na Figura 16 mostra-se um esquema do modelo experimental com indicação e localização de cada caso de interface típica. A região contida no retângulo menor, representada com linhas tracejadas, corresponde à área do ensaio de estanqueidade à água, a região contida no retângulo maior, com linha contínua, corresponde à área do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.

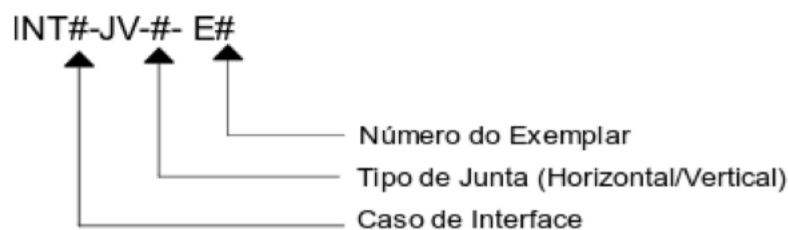
Figura 16 - Esquema do modelo experimental com indicação das interfaces típicas.



Conforme pode ser visto na representação em planta da Figura 16, o modelo experimental possui enrijecedores laterais nas extremidades da alvenaria, de forma a prover uma contenção lateral do mesmo.

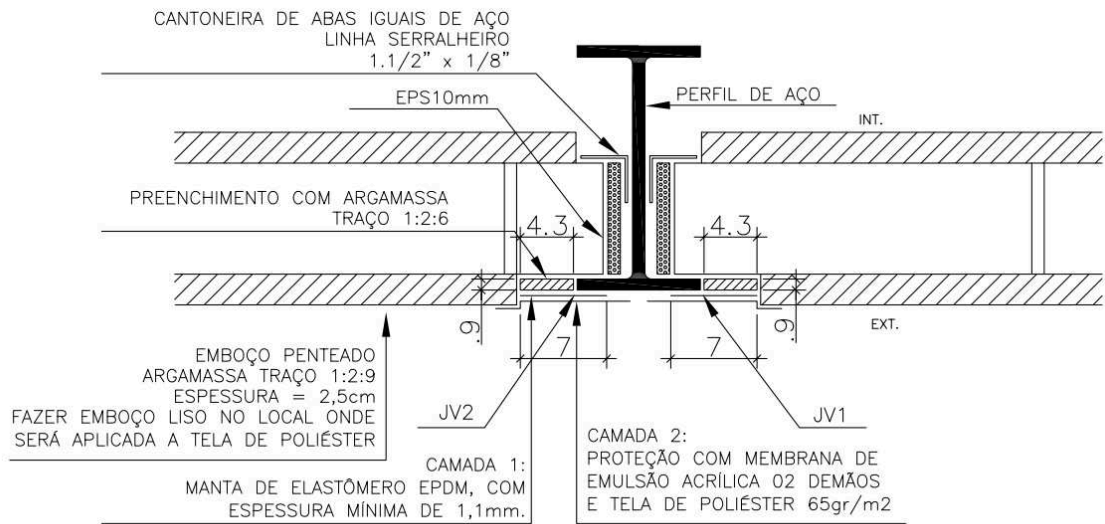
De modo a identificar os casos de interface selecionados para estudo, as juntas e o número do exemplar, adotou-se a nomenclatura indicada na Figura 17.

Figura 17 – Nomenclatura dos modelos experimentais.



A interface INT1 corresponde a uma interface entre alvenaria e alma de um pilar de aço. Esta interface contém duas juntas verticais idênticas (JV1 e JV2) que se estendem da base do pilar até a altura da viga de aço. A desvinculação entre alvenaria e perfil foi realizada com a colocação de cantoneiras soldadas na alma do pilar e EPS no encontro entre alvenaria e alma do perfil de aço. Um detalhe da interface INT1 é apresentado na Figura 18.

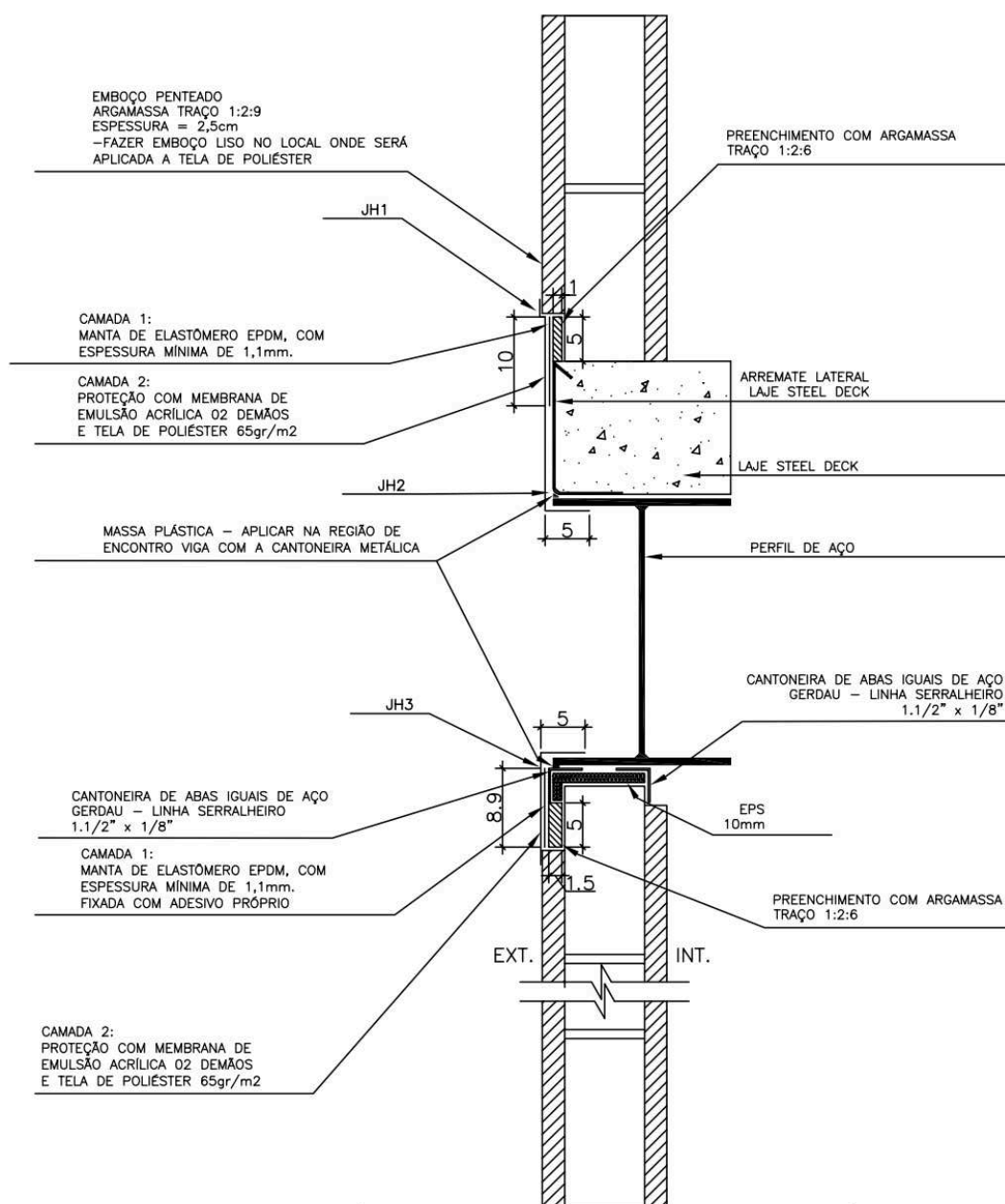
Figura 18 – Detalhe da interface INT1 representada no modelo experimental.



Fonte: Autor.

A interface INT2 contém três juntas horizontais, sendo a primeira entre alvenaria e laje de concreto (JH1), a segunda entre laje de concreto e viga de aço (JH2) e a terceira entre a alvenaria e viga de aço (JH3). Um detalhe da interface INT2 é apresentado na Figura 19.

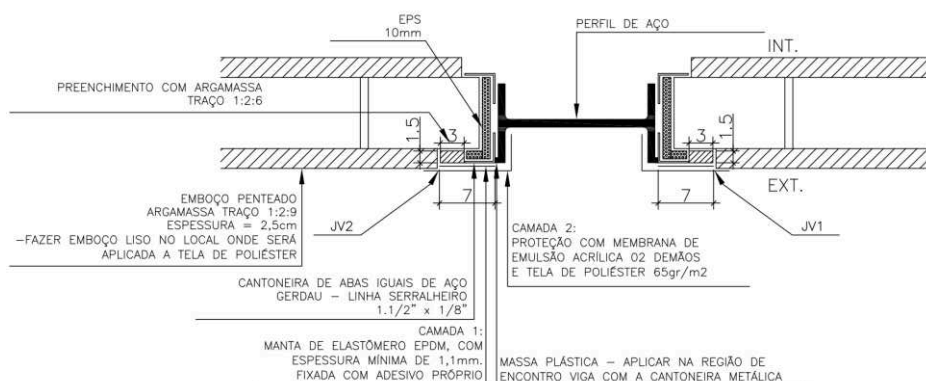
Figura 19 – Detalhe da interface INT2 representada no modelo experimental.



Fonte: Autor.

A interface INT3 corresponde a uma interface entre alvenaria e mesa de um pilar de aço. Essa interface contém duas juntas verticais idênticas (JV1 e JV2) que se estendem da base do pilar até a altura da viga de aço. A desvinculação entre alvenaria e perfil foi realizada com a colocação de cantoneiras soldadas na mesa do pilar e EPS no encontro entre alvenaria e mesa do perfil de aço. Um detalhe da interface INT3 apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Detalhe da interface INT3 representada no modelo experimental.



Fonte: Autor.

3.3.2. Materiais componentes do modelo experimental

Para construção do modelo experimental foram utilizados blocos cerâmicos furados de dimensões 9 cm x 19 cm x 29 cm. A caracterização física e mecânica dos blocos foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da UFV (LMC/DEC/UFV) por meio da determinação da resistência de compressão axial e do índice de absorção de água conforme prescrito na ABNT NBR 15270-2:2017.

A resistência à compressão média dos blocos obtida foi de 2,0 MPa e o índice de absorção média do lote encontrado foi de 21,1 %. Ambos os valores estão dentro do limite estabelecido pela ABNT NBR 15270-2:2017 que é de no mínimo 1,5 MPa para a resistência à compressão e entre 8 % e 25 % para a absorção de água para blocos de vedação.

Para o assentamento dos blocos do modelo experimental foi utilizada argamassa com traço 1:3:12 (cimento, cal e areia) em volume e para o revestimento argamassa com traço de 1:1:6 (cimento, cal e areia) em volume.

A argamassa utilizada para construção do modelo experimental foi submetida a ensaios de caracterização seguindo as prescrições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O índice de consistência da argamassa de revestimento no estado fresco foi determinado de acordo com a ABNT NBR 13.276:2005. O índice de consistência médio da argamassa obtido foi de 317,7 mm.

Para caracterização da argamassa no estado endurecido foi realizado o ensaio de resistência à tração na flexão e o ensaio de resistência à compressão axial de acordo com a ABNT NBR 13.279:2005. A resistência à tração na flexão média da argamassa aos 28 dias foi de 1,7 MPa, a resistência à compressão média aos 28 dias foi de 4,5 MPa.

3.3.3. Construção do modelo experimental

A alvenaria do modelo experimental foi inserida no plano de um pórtico composto por dois pilares em perfil I e uma viga, também em perfil I. Essa alvenaria é composta por blocos cerâmicos de dimensões 9 cm x 19 cm x 29 cm, assentados com a argamassa descrita no item 3.3.2.

Os pilares foram fixados em furos de aproximadamente 45 cm de profundidade. Após o posicionamento, alinhamento e aprumo dos perfis, os furos foram preenchidos com solo compactado e concretados nos últimos 10 cm próximos à superfície. Este procedimento foi realizado com o objetivo de facilitar a remoção futura dos modelos. Posteriormente realizou-se a montagem da viga de aço, formando o pórtico principal (Figura 21).

Figura 21 - Instalação do pórtico do modelo experimental:
a) execução dos furos; b) montagem da viga de aço.



a)



b)

Fonte: Autor.

Após a cura do concreto aplicado na base dos pilares foram soldadas cantoneiras nos pilares e nas vigas de aço, como parte do sistema de desvinculação entre alvenaria e perfis.

As cantoneiras foram soldadas com um espaçamento tal que permitisse encaixar os blocos cerâmicos entre elas (Figura 22).

Figura 22 – Cantoneiras soldadas nos perfis de aço do modelo experimental.



Fonte: Autor.

Antes da execução da alvenaria com blocos cerâmicos foi executada a primeira fiada utilizando-se blocos de concreto preenchidos com concreto. Esta fiada funcionou como uma espécie de viga baldrame, servindo de base para as paredes (Figura 23).

Figura 23 - Execução da primeira fiada da alvenaria do modelo experimental.



Fonte: Autor.

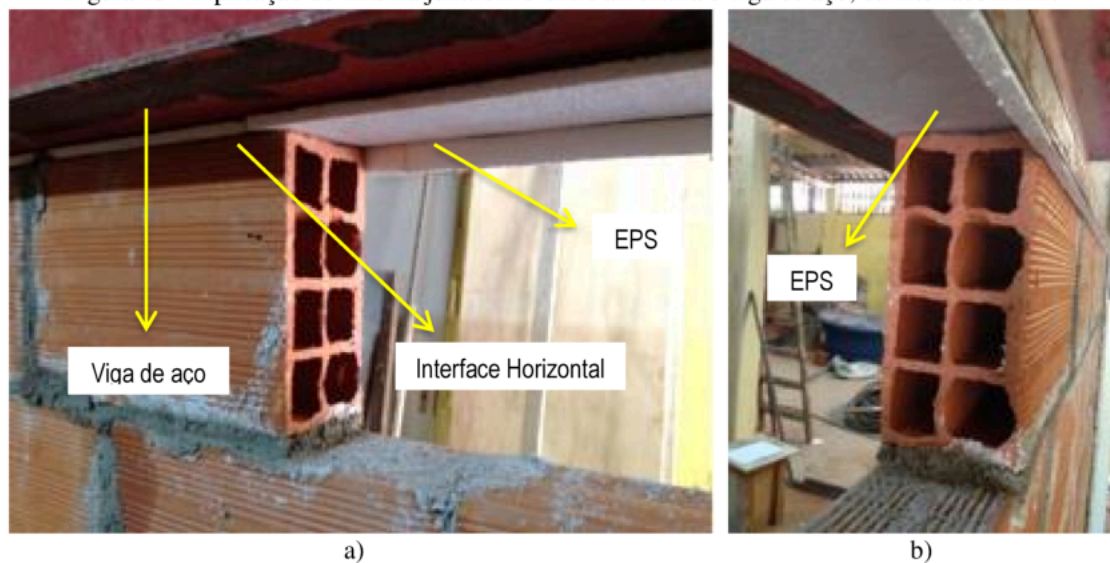
Posteriormente foi executada a alvenaria com blocos cerâmicos com juntas de assentamento verticais e horizontais de 10 mm de espessura. Durante a execução da alvenaria foram colocadas placas de EPS nas interfaces entre alvenaria e perfis de aço (Figura 24, Figura 25, Figura 26).

Figura 24 – Aplicação de EPS na junta JV-1 entre a alvenaria e a alma do pilar de aço, da interface INT1.



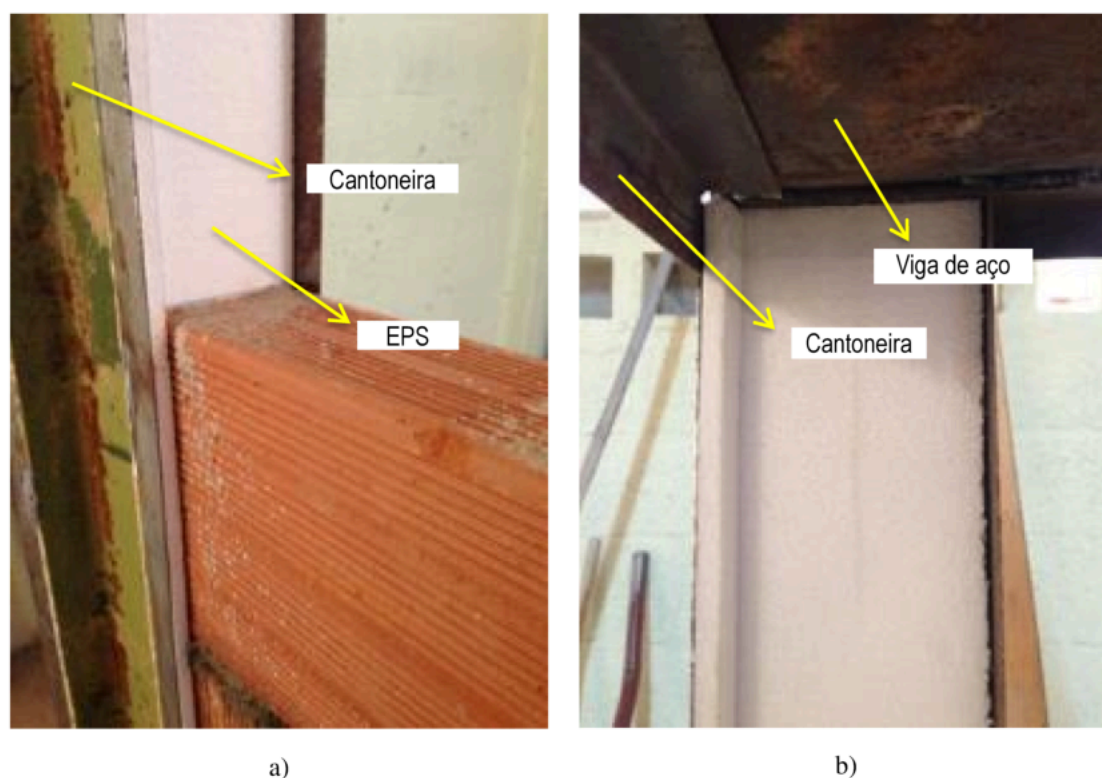
Fonte: Autor.

Figura 25 – Aplicação de EPS na junta JH-3 entre alvenaria e viga de aço, da interface INT2.



Fonte: Autor.

Figura 26 – Aplicação de EPS na junta JV-1 entre alvenaria e mesa do pilar de aço, da interface INT3.



Fonte: Autor.

Após a conclusão e cura do assentamento dos blocos foi aplicado chapisco com traço 1:3 (cimento e areia) em volume. Na região das juntas verticais e horizontais foi executado um emboço camurçado com areia fina para tornar mais lisa a superfície de aplicação da manta de elastômero EPDM. Na Figura 27 apresenta-se um aspecto do modelo

experimental após a aplicação do chapisco e do emboço camurçado próximo às juntas verticais e horizontal.

Figura 27 – Aspecto do modelo experimental após a execução do chapisco e do emboço camurçado na região das juntas.



Fonte: Autor.

Após o período de cura do chapisco, foi aplicada uma argamassa de revestimento com espessura de 2,5 cm e traço 1:1:6 (cimento, cal e areia) em volume no restante da parede.

Na parte superior da viga foram soldadas chapas de aço galvanizado dobradas, simulando um arremate lateral (AL) de uma laje em *steel deck* (Figura 28). Posteriormente foi lançado concreto no interior destas chapas, criando-se assim um elemento que simulou a disposição de uma laje sobre a viga do pórtico (Figura 29).

Figura 28 – Elementos utilizados para simular a disposição de uma laje sobre a viga do pórtico:
a) chapa galvanizada dobrada; b) chapa soldada sobre a viga.



Fonte: Autor.

Figura 29 – Aspecto do elemento de concreto sobre a viga do pórtico.



Fonte: Autor.

Após a cura do concreto do elemento que simula a laje foram executadas as duas fiadas de alvenaria para conclusão do fechamento do modelo (Figura 30). Do mesmo modo que na parte inferior da viga, foi aplicado chapisco e emboço próximo às juntas verticais e horizontal.

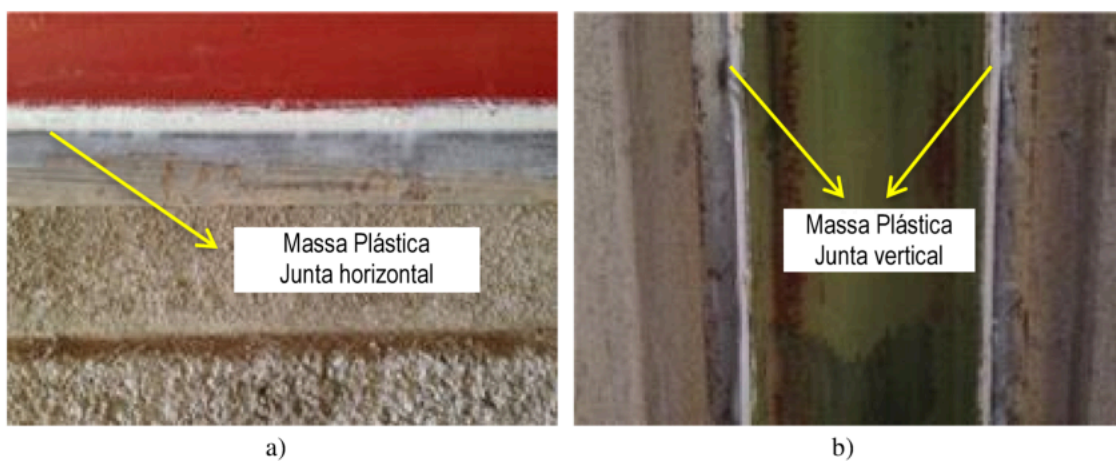
Figura 30 – Aspecto do assentamento das fiadas de alvenaria superiores.



Fonte: Autor.

Após a cura do emboço, as juntas verticais e horizontais entre perfis de aço e as cantoneiras, que não estão sujeitas a deslocamentos relativos entre si, foram preenchidas com massa plástica automotiva. Após este processo, os perfis de aço foram pintados de vermelho (Figura 31 e Figura 32).

Figura 31 – Aspecto das juntas entre perfil de aço e as cantoneiras após a aplicação de massa plástica:
a) junta horizontal; b) junta vertical.



Fonte: Autor.

Figura 32 - Aspecto final do modelo experimental sem tratamento das interfaces entre alvenaria e perfil de aço.



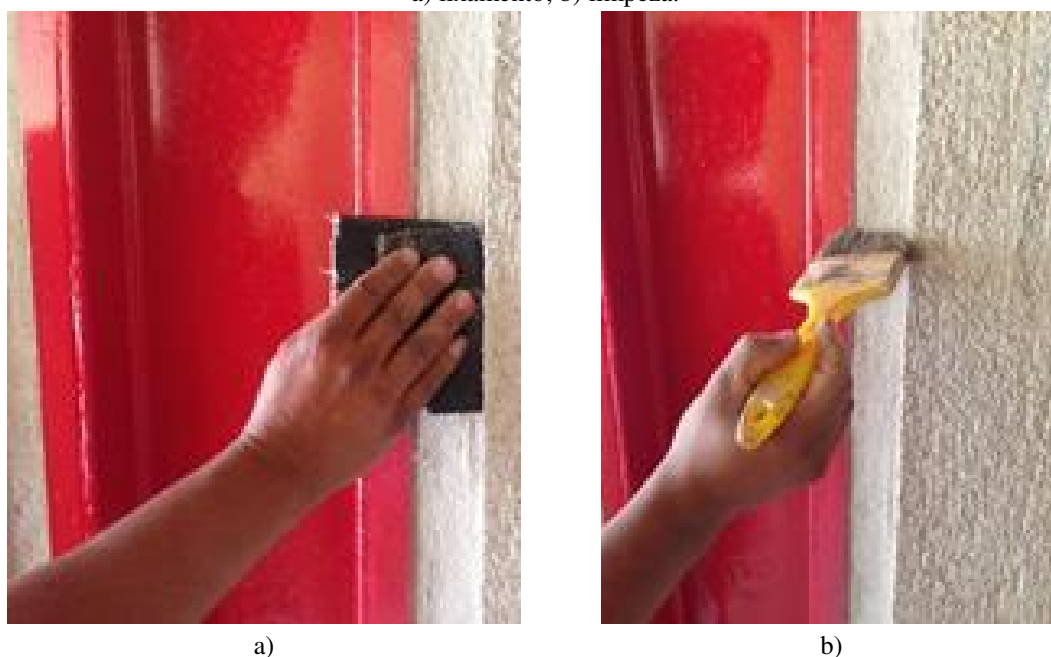
Fonte: Autor.

3.3.4. Tratamento das juntas

Após a cura da argamassa de revestimento, as interfaces entre alvenaria e perfis em aço foram tratadas com manta de elastômero EPDM, tela de poliéster e emulsão acrílica, conforme proposto por Santos (2006).

Inicialmente procedeu-se a limpeza das superfícies, onde foi aplicado o tratamento das juntas entre alvenaria e perfil de aço, lixando e removendo os resíduos com uso de pincel (Figura 33).

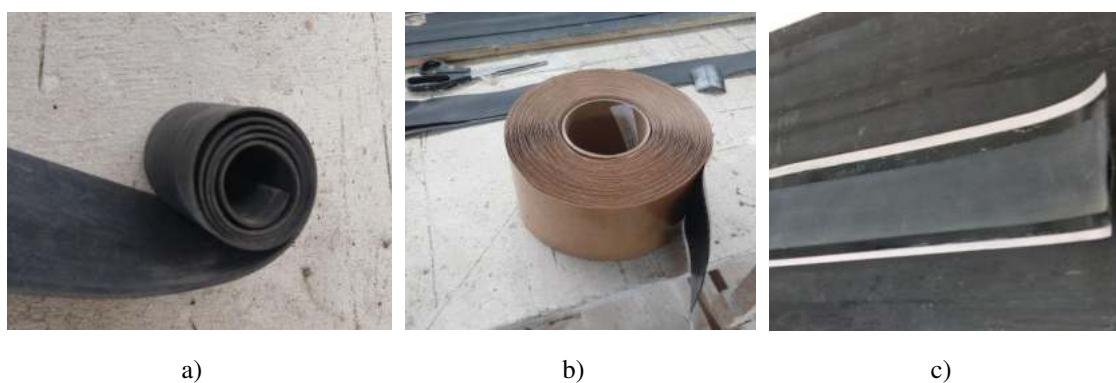
Figura 33 – Preparação da superfície de aplicação de manta de elastômero EPDM:
a) lixamento; b) limpeza.



Fonte: Autor.

Em seguida, realizou-se o corte da manta de elastômero EPDM em tiras de 7,0 cm de largura. É necessário colar uma fita de caldeação na manta com objetivo de promover a fusão da manta de elastômero EPDM com a superfície, num processo de vulcanização a frio (Figura 34). A manta utilizada foi de 1,1 mm de espessura, não reforçada. Sobre as tiras da manta e sobre a fita de caldeação foi aplicado adesivo e aguardou-se o tempo suficiente para que o adesivo estivesse seco ao toque em ambas as partes. Após isto, a fita de caldeação foi colada sobre a manta, ficando preparada para aplicação sobre as juntas.

Figura 34 – Preparação da manta de elastômero EPDM: a) manta de elastômero EPDM cortada em tiras; b) fita de caldeação; c) manta colada na fita de caldeação.

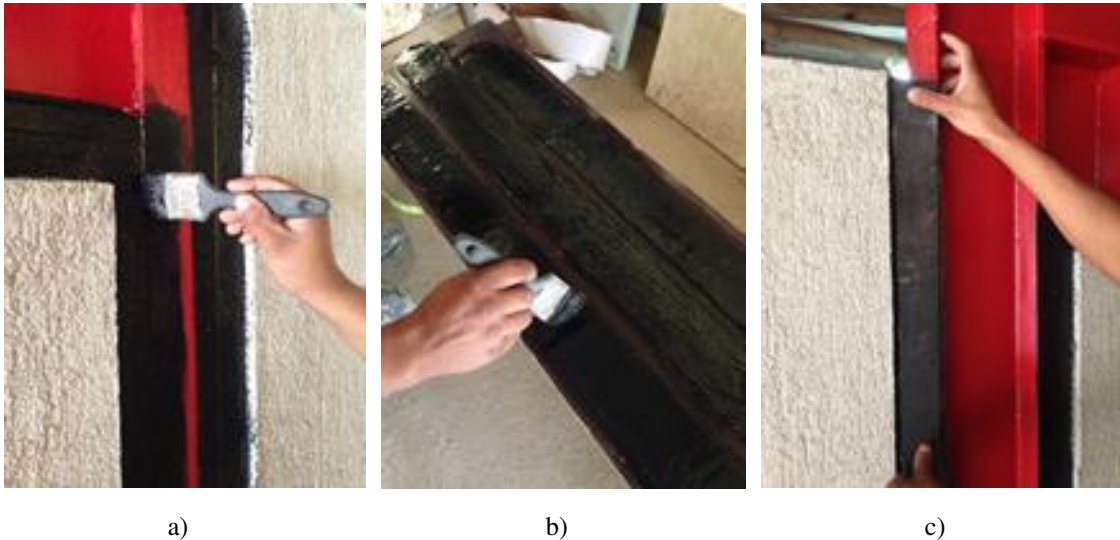


Fonte: Autor.

Sobre a região vizinha às juntas foi aplicado o adesivo e aguardou-se um período de 3 horas para secagem. Decorrido este tempo, o adesivo foi aplicado sobre a face externa da

fita de caldeação já fundida com a manta, aguardando-se o tempo suficiente para que o adesivo estivesse seco ao toque. Após isto, a fita já fundida com a manta foi aplicada sobre a região das juntas (Figura 35).

Figura 35 - Tratamento de juntas entre alvenaria e perfil de aço com manta de elastômero EPDM:
a) aplicação do adesivo sobre a região vizinha à junta; b) aplicação do adesivo sobre a face externa da fita de caldeação já fundida com a manta; c) aplicação da fita de caldeação já fundida com a manta sobre a região da junta.



Fonte: Autor.

Na Figura 36 pode-se verificar o aspecto do modelo experimental após a aplicação do tratamento com manta de elastômero EPDM nas juntas verticais e horizontais.

Figura 36 – Aspecto final do modelo experimental após a aplicação do tratamento com manta de elastômero EPDM.



Fonte: Autor.

Após 20 minutos da aplicação da manta de elastômero EPDM, procedeu-se a aplicação de emulsão acrílica na cor branca, diluída em 30% de água, e tela de poliéster tipo com gramatura de 30 g/m². A primeira demão da emulsão acrílica foi aplicada sobre a manta de elastômero EPDM. A tela de poliéster foi cortada com uma largura superior à da fita de caldeação. Decorridas seis horas da primeira demão de aplicação da emulsão, a tela foi aplicada sobre a região das juntas com uma nova demão de emulsão acrílica pura. Foram aplicadas mais duas demãos de emulsão acrílica, sempre respeitando o intervalo de seis horas entre cada demão. Na Figura 37 pode-se observar a aplicação da tela de poliéster com emulsão acrílica e o aspecto final de juntas após o tratamento. O aspecto final do o modelo experimental é apresentado na Figura 38.

Figura 37 – Tratamento das juntas com manta de elastômero EPDM: a) aplicação da tela de poliéster com emulsão acrílica; b) aspecto final de juntas após o tratamento.



Fonte: Autor.

Figura 38 - Aspecto final do modelo experimental após o tratamento das juntas com manta de elastômero EPDM.



Fonte: Autor.

3.4. Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

Os modelos experimentais foram submetidos ao ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico utilizando-se o método prescrito no Anexo E da ABNT NBR 15575-4:2013 (item 2.6.2), com algumas adaptações. Este ensaio tem como objetivo provocar um envelhecimento acelerado na região ensaiada, submetendo o

modelo a ciclos de exposição à ação do calor e resfriamento abrupto, com propósito de representar, de forma acelerada, condições de degradação às quais os elementos construtivos estão sujeitos ao longo de sua vida útil.

É importante ressaltar que a ABNT NBR 15.575-4:2013 estabelece critérios para avaliação de SVVE como um todo. Neste trabalho, procurou-se adaptar o método prescrito nessa norma para avaliar especificamente as interfaces típicas representadas no modelo experimental, tratadas com manta de elastômero EPDM.

A seguir são apresentados os equipamentos e a metodologia utilizada para o desenvolvimento do ensaio.

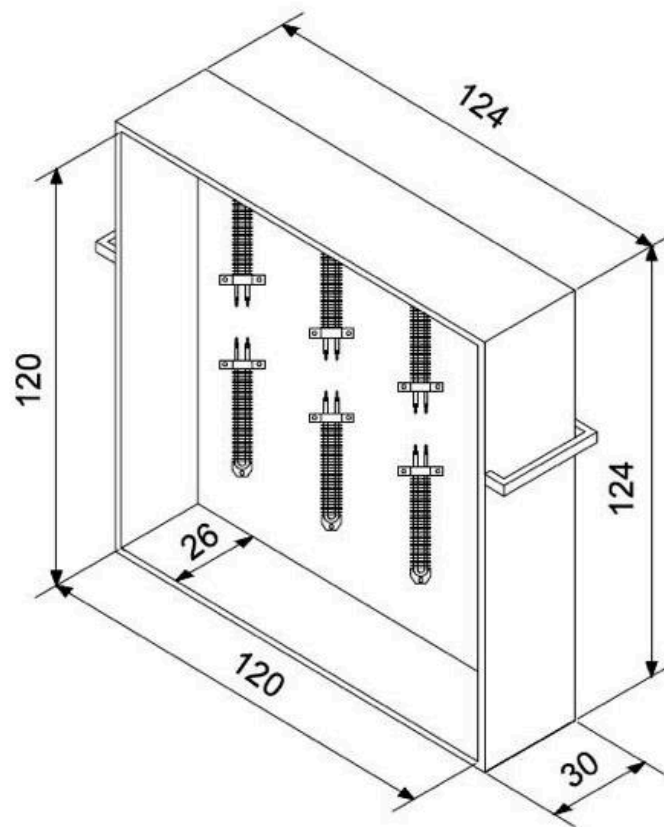
3.4.1. Equipamentos utilizados para execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

Neste trabalho foi utilizado um painel radiante de emissão de calor desenvolvido por Franco (2019) no LMC/DEC/UFV. Este painel consiste de uma câmara para irradiação de calor e foi construído com base nas recomendações do Anexo E da ABNT NBR 15575-4:2013.

De acordo com a referida norma, o painel deve ser capaz de fornecer calor em quantidade suficiente para que a face externa da parede atinja uma temperatura de $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$ durante o ensaio.

O painel é constituído por chapas de aço com isolamento térmico em lã de vidro e possui dimensões externas de 124 mm x 124 mm, conforme mostrado na Figura 39. Internamente suas dimensões são de 120 mm x 120 mm, o que faz com que a área que recebe irradiação de calor do painel seja de $1,44 \text{ m}^2$.

Figura 39 – Perspectiva do painel radiante (dimensões em milímetros).



Fonte: FRANCO (2019).

De modo a facilitar o transporte e posicionamento do painel, o mesmo dispõe de um suporte provido de rodas. O painel possui oito resistências do tipo tubular aletada, com potência nominal 650W, alimentadas com tensão de 220V. As resistências foram posicionadas dentro do painel, de modo que a superfície ensaiada recebesse calor de forma uniforme. Na Figura 40 é apresentado o aspecto geral do painel radiante utilizado.

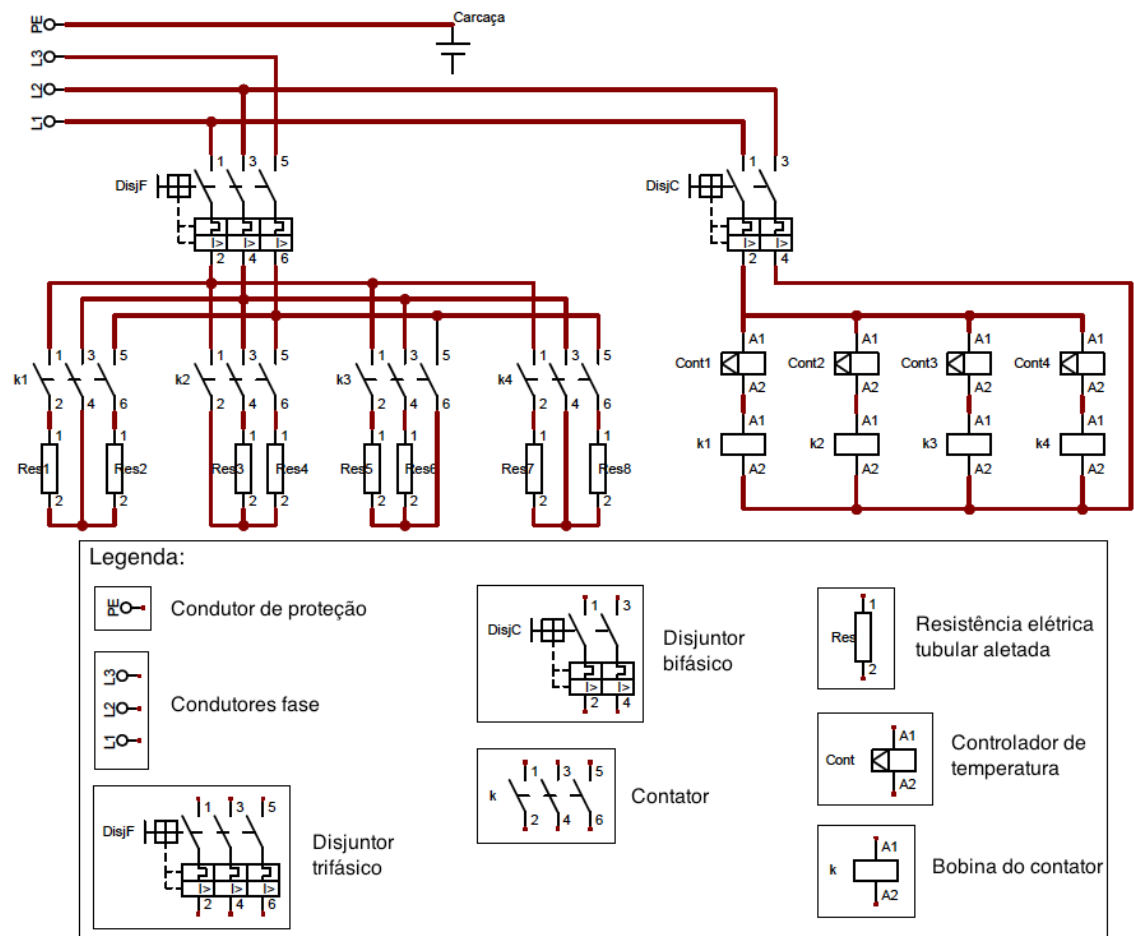
Figura 40 – Aspecto geral do painel radiante: a) vista posterior; b) vista frontal.



Fonte: FRANCO (2019).

Na face oposta do painel radiante foi instalado um quadro de disjuntores e contadores. Cada contador foi ligado a um par de resistências, divididos e numerados em quatro quadrantes conforme indicado na Figura 40.a. O seccionamento do circuito das resistências é realizado por um disjuntor termomagnético padrão europeu, trifásico e de corrente nominal de 25 A. O circuito dos contadores possui um disjuntor padrão europeu, bifásico e decorrente nominal de 15 A. O acionamento dos contadores e das resistências foi realizado por meio de controladores de temperatura ligados a quatro termopares fixados na face externa da parede. O sistema de controle do painel pode ser melhor compreendido com auxílio do esquema multifilar apresentado na Figura 41.

Figura 41 - Esquema multifilar do sistema de controle do painel radiante.



Fonte: FRANCO (2019).

Os controladores de temperatura foram configurados de forma que a temperatura se mantivesse no intervalo de $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$, conforme estabelecido na ABNT NBR 15575-4:2013.

A medição da temperatura na face externa da parede e nas interfaces foi realizada por meio de termopares conectados a controladores digitais. Foram utilizados dois controladores, alimentados com tensão de 127/220V, e dois alimentados com tensão de 12V. A faixa de temperatura de trabalho destes controladores é de $-50 ^\circ\text{C}$ a $+105 ^\circ\text{C}$ (Figura 42).

Figura 42 - Controladores de temperatura.



Fonte: Autor.

Para avaliação dos deslocamentos relativos entre alvenaria e perfil de aço nas interfaces, no plano da parede, foram utilizados transdutores de deslocamentos (DT), com curso de 5 mm e precisão de $\pm 0,00005$ mm (Figura 43). A fixação dos DTs nos perfis de aço foi realizada com auxílio de bases magnéticas (Figura 44).

Figura 43 - Transdutor de deslocamento.



Fonte: Autor

Figura 44 - Fixação dos DTs com o uso de base magnética.



Fonte: Autor

A leitura e gravação dos deslocamentos foram realizadas por meio de um sistema de aquisição de dados (SAD), modelo Quantum X MX840A, configurado com uma taxa de amostragem de duas leituras por segundo (0,5 Hz). As configurações dos DTs e do SAD foram realizadas com o auxílio do programa CatMan versão 3.4. Na Figura 45 é apresentado o SAD e o computador utilizado nos ensaios.

Figura 45 – Sistema de aquisição de dados: a) computador; b) dispositivo Quantum X MX840A.



a)



b)

Fonte: Autor.

Uma câmera termográfica foi utilizada para registro da temperatura nas faces externa e interna do modelo (Figura 46). A faixa de trabalho de temperatura desta câmera varia entre -20° e 250° C, com precisão de ± 2 °C.

Figura 46 - Câmera termográfica.



a)

b)

Fonte: Autor.

3.4.2. Procedimento para execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

Cada caso de interface foi submetido a dez ciclos completos de exposição à ação do calor e resfriamento. O tempo médio de aquecimento da parede até que os quatro termopares posicionados na face externa registrassem a temperatura de $(80 \pm 3)^\circ\text{C}$ foi de aproximadamente trinta minutos. A face externa foi mantida aquecida nesta faixa de temperatura por um período de uma hora em cada ciclo.

Os termopares ligados aos controladores de temperatura desligavam automaticamente os contadores sempre que a temperatura medida na face externa do revestimento atingia 82°C e eram religados automaticamente sempre que a temperatura atingia 78°C .

Os controladores foram programados para desligarem com 82°C e religarem com 78°C , pois a temperatura ainda continuava aumentando ou diminuindo por um curto intervalo de tempo, mesmo após o desligamento ou religamento dos contadores. Este procedimento evitou a extrapolação dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 17555-4:2013.

O ponto de medição da temperatura, conforme prescrito pela ABNT NBR 17555-4:2013 foi a face externa da alvenaria. No entanto, nos três casos de interface avaliados, a junta não estava exatamente no mesmo plano que a face externa da parede. Como não há um método específico prescrito para avaliação de desempenho de juntas tratadas com manta de elastômero EPDM, foram utilizados os mesmos pontos de

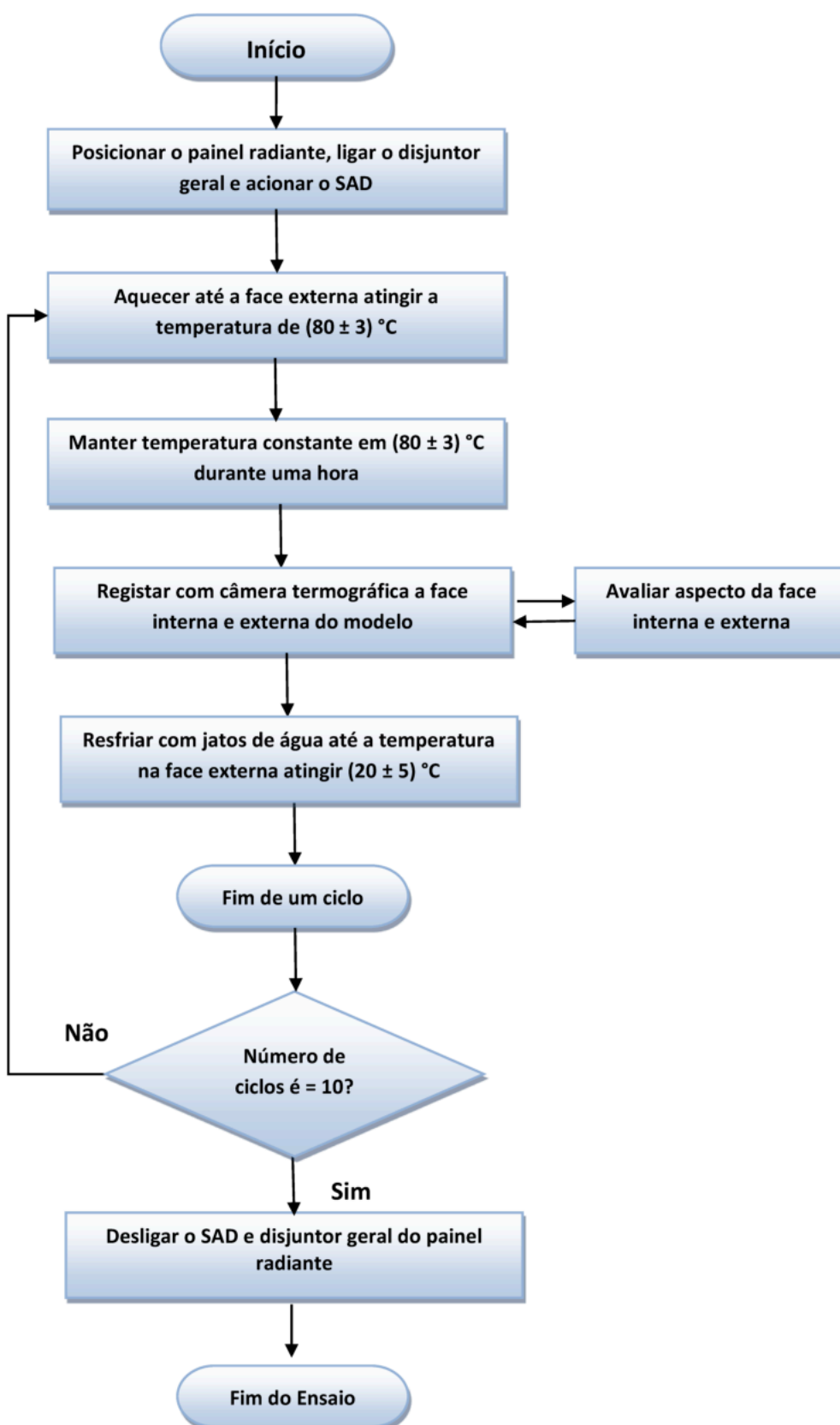
medição de temperatura recomendados por esta norma. Entende-se que irradiando calor na face do SVVE, conforme propõe esta norma, simula-se uma situação condizente com o fenômeno que ocorre em casos reais.

Os registros fotográficos da face interna da parede com a câmera térmica foram realizados cinco minutos antes do fim de cada ciclo de aquecimento. Ao final da fase de temperatura constante a $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$ o painel foi afastado e imediatamente foram realizados registros termográficos da face externa da parede.

Em seguida, a parede foi submetida a um resfriamento com jatos de água, com auxílio de mangueira, até que a face externa atingisse a temperatura de $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Ao final do período de resfriamento completava-se um ciclo do ensaio.

Durante a realização do ensaio, a face interna da parede foi submetida a uma avaliação visual para verificar a eventual ocorrência de danos no local. A face externa foi avaliada durante a fase de resfriamento com o auxílio de uma lanterna. Todas as alterações ou observações realizadas na avaliação visual durante o ensaio foram registradas. Na Figura 47, apresenta-se um fluxograma com as etapas do ensaio realizado.

Figura 47 - Fluxograma do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: Autor.

Para iniciar o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, o perímetro do painel radiante foi marcado com giz de cera sobre a face externa do modelo, delimitando-se a região a ser ensaiada. Posteriormente foram posicionados termopares na alvenaria com auxílio de abraçadeiras de nylon (Figura 48). A fixação sobre a junta foi realizada com fita adesiva para evitar perfurar a manta de elastômero EPDM (Figura 49).

Figura 48 – a) Marcação do perímetro do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) Fixação de termopares na face externa do modelo experimental.



Fonte: Autor.

Figura 49 - Fixação de um termopar sobre a manta de elastômero EPDM aplicada em uma junta vertical.



Fonte: Autor.

Os quatro termopares foram fixados no centro de cada quadrante da região ensaiada. O termopar fixado sobre a manta de elastômero EPDM foi posicionado sobre a junta (Figura 50).

Figura 50 – Posicionamento e fixação de termopares.



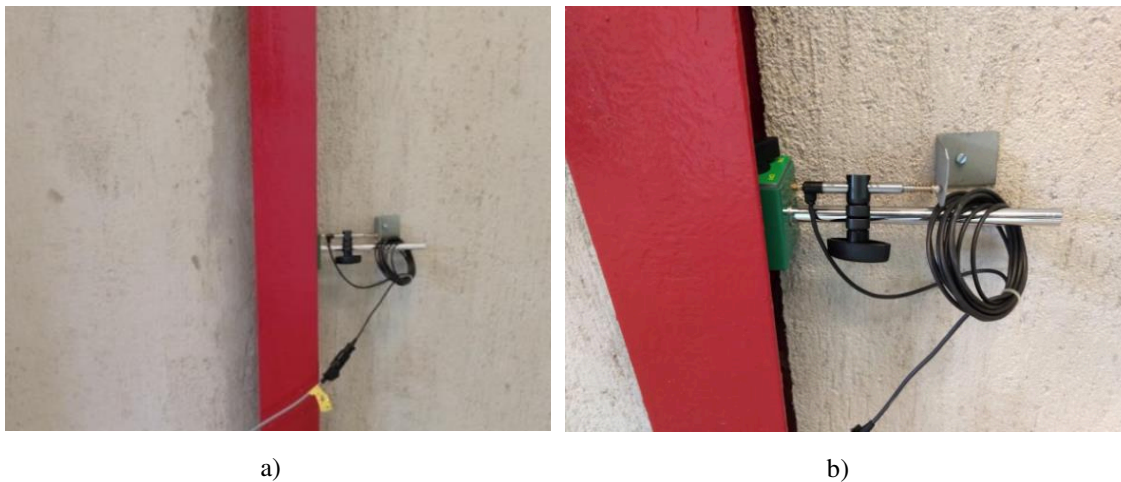
Fonte: Autor.

Foram posicionados transdutores de deslocamento (DT) nas interfaces ensaiadas a fim de medir o eventual deslocamento relativo entre alvenaria e perfil de aço. Como foram avaliados três casos de interface, em cada uma delas os DTs foram posicionados de forma distinta.

Diferentemente do que prescreve a ABNT NBR 15.5755-4:2013, não foi posicionado um defletômetro no centro da face interna, pois o deslocamento neste ponto do modelo experimental era impedido pelo perfil em aço.

Na face interna da interface INT1 foi posicionado um DT no centro da região ensaiada, de modo que se pudesse medir o eventual deslocamento horizontal relativo entre alvenaria e perfil. A fixação no perfil em aço se deu com o auxílio de uma base magnética. Na parede foi fixada uma cantoneira metálica que serviu como anteparo do DT (Figura 51).

Figura 51 - Fixação do DT na face interna da interface INT1.



Fonte: Autor.

Na interface INT2 foram posicionados dois DTs para verificação do deslocamento relativo horizontal entre alvenaria e viga de aço. O primeiro DT foi posicionado na face interna, no centro da região ensaiada. O segundo DT foi posicionado na face externa da parede, fora da área de ensaio (Figura 52), dado que a temperatura máxima de trabalho do DT é de 105 °C.

Figura 52 – Fixação do DT na face externa da interface INT2.



Fonte: Autor.

Na interface INT3 foram posicionados dois DTs para medir o deslocamento relativo horizontal e vertical entre alvenaria e pilar de aço. Ambos foram fixados na face interna da parede (Figura 53).

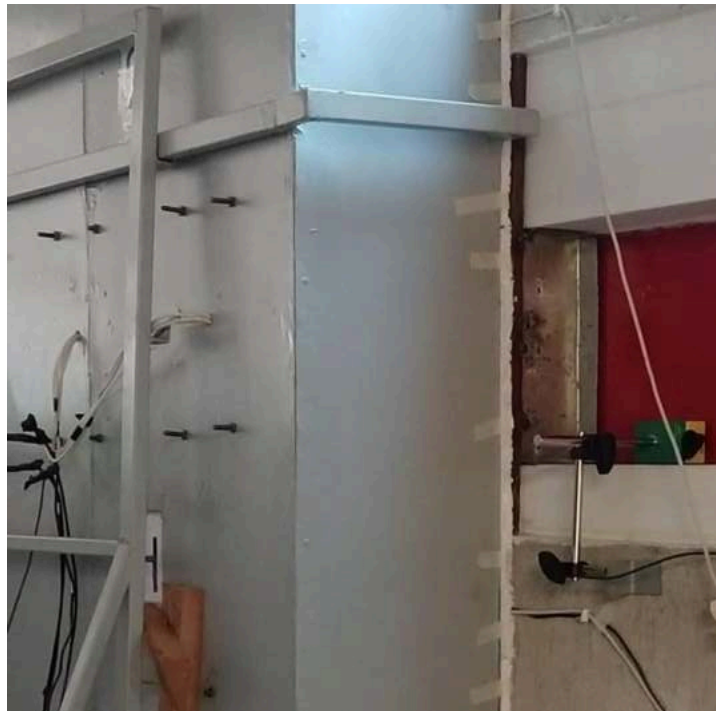
Figura 53 – Fixação dos DTs na face interna da interface 3.



Fonte: Autor.

Ao encostar o painel radiante na face externa do modelo para ensaio da interface INT2, notou-se que surgiam aberturas nas laterais entre o painel e alma da viga. Para minimizar as perdas de calor por meio destas aberturas foi colocada uma chapa de aço nas laterais do painel (Figura 54).

Figura 54 – Detalhe da chapa de aço colocada na lateral do painel radiante.



Fonte: Autor.

Mesmo com a instalação da chapa em aço nas laterais do painel, durante o ensaio notou-se que ocorriam perdas de calor nas laterais para os três casos de interface. Este problema foi minimizado aplicando uma tira de EPS nas bordas do painel e utilizando escoras e cunhas de madeira para pressioná-lo contra a parede. Desta forma, as perdas de calor ocorriam quase que somente por meio da carcaça do painel. Na Figura 55 pode-se observar o posicionamento das escoras para minimizar as perdas de calor.

Figura 55 - Escoramento do painel radiante durante o ensaio da interface INT3.



Fonte: Autor.

Uma vez posicionado o painel radiante e conectados todos os cabos, o ensaio era iniciado acionando-se os disjuntores e o registro dos dados de deslocamentos pelo SAD. Na

Figura 56 mostra-se o painel radiante posicionado e preparado para o início do ensaio.

Figura 56 - Painel radiante posicionado e preparado para o início do ensaio na interface INT2.



Fonte: Autor.

3.5. Pintura das paredes

Após a realização do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, aguardou-se um período de 20 dias até que as paredes estivessem secas ao ar. Como o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho das interfaces entre alvenaria e perfis de aço tratadas com manta de elastômero EPDM, optou-se por realizar a pintura da superfície externa das paredes.

Este procedimento foi realizado com o objetivo de selar as eventuais fissuras existentes na argamassa de revestimento da alvenaria, evitando-se com que uma eventual passagem de água pela superfície da parede pudesse interferir na avaliação do desempenho das interfaces.

Foram aplicadas duas demãos de selador acrílico, com intervalo de 5 horas entre elas. Após o período de cura do selador foram aplicadas duas demãos de tinta acrílica, na cor branca, respeitando-se o mesmo intervalo de tempo entre demãos. É importante ressaltar que a região da interface com a junta tratada com manta de elastômero EPDM não foi

pintada, mantendo-se suas características inalteradas após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Na Figura 57, mostra-se o aspecto geral do modelo após a pintura da face externa.

Figura 57- Aspecto geral da parede após a pintura da face externa.



Fonte: Autor.

3.6. Ensaio de estanqueidade à água

Após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e da pintura das paredes, foi realizado o ensaio de estanqueidade à água. A metodologia do ensaio foi baseada no procedimento da ABNT NBR 15.575-4:2013, adaptado por SATHLER (2018). Este ensaio tem como objetivo avaliar a penetração de água por meio das juntas situadas nas interfaces, simulando a ocorrência de chuvas sobre o SVVE, aliada a uma pressão de vento incidente.

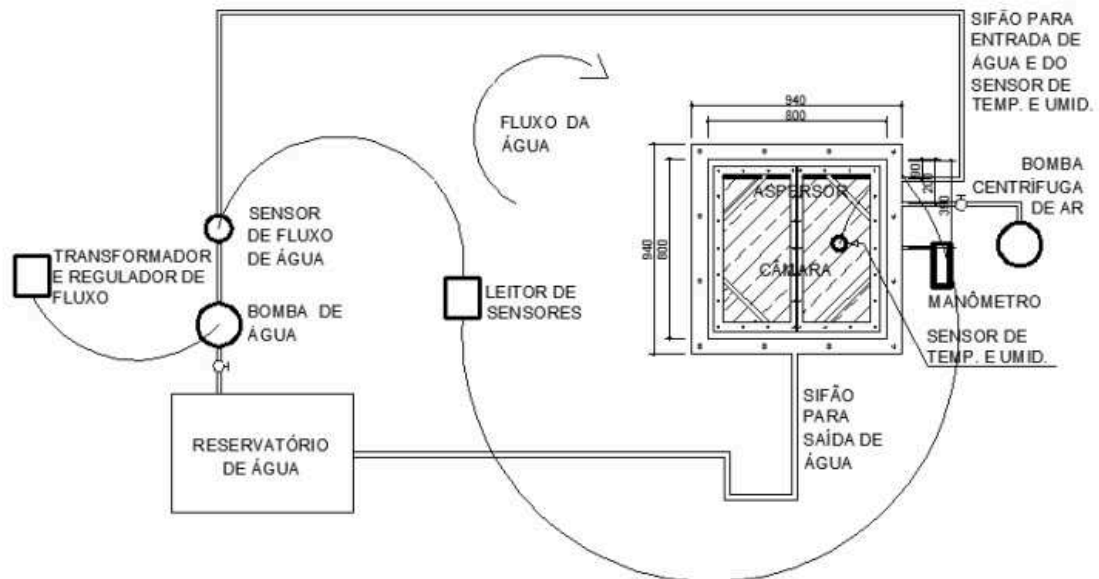
Assim como no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico, este ensaio foi proposto pela ABNT NBR 15.575-4:2013 para avaliação do SVVE como um todo. No entanto, neste trabalho o ensaio foi utilizado para avaliação das interfaces típicas representadas no modelo experimental.

3.6.1. Equipamentos utilizados para realização do ensaio de estanqueidade à água

Para realização do ensaio de estanqueidade à água foi utilizada uma câmara de estanqueidade com controle da pressão pneumática e da vazão de água de aspersão na

parede. A câmara utilizada foi desenvolvida por Sathler (2018) no LMC/DEC/UFV com base em critérios estabelecidos na ABNT NBR 15.575-4:2013. Foram necessários alguns equipamentos auxiliares para funcionamento e monitoramento da câmara. Na Figura 58 é apresentado um esquema geral da câmara e dos equipamentos utilizados neste ensaio.

Figura 58 - Esquema geral do arranjo de equipamentos acoplados à câmara de estanqueidade.



Fonte: Sathler (2018).

O registro fotográfico da face interna da parede foi realizado com uma câmera apoiada sobre um tripé. Sobre a face interna da parede foi posicionada uma caixa confeccionada com EPS, na forma de um cubo com 1,0 m de lado, para controle da luminosidade e para realizar os registros sempre na mesma posição, conforme recomendado pela ABNT NBR 15.575-4:2013. Esta caixa de EPS foi revestida com cartolina preta pelo lado externo.

Dentro da caixa de EPS foi instalada uma lâmpada fluorescente compacta de 20 W e temperatura de cor de 6.400 K, de forma a não ocorrer interferência de luz externa nos registros fotográficos. Na Figura 59 mostra-se o sistema montado para o registro fotográfico.

Figura 59 - Caixa de EPS para controle de luminosidade e posicionamento da câmera fotográfica:
a) interface INT1; b) interface INT2.



a)



b)

Fonte: Autor.

3.6.2.Procedimento para execução do ensaio de estanqueidade à água

Para se iniciar o ensaio de estanqueidade à água deve-se aguardar o período de cura da pintura, que, segundo a ABNT NBR 15.575-4:2013, deve ser de no mínimo sete dias. No presente trabalho, o ensaio de estanqueidade foi realizado trinta dias após a pintura das paredes.

Antes do início do ensaio de estanqueidade à água, deve-se fazer a limpeza da câmara e dos seus componentes. Os filtros dos bicos aspersores foram removidos e limpos em água corrente.

Posteriormente foi realizada a calibração do fluxo de água dos bicos. Durante a calibração do fluxo de aspersão, a bomba e o reservatório de água foram mantidos numa posição equivalente à do ensaio, de forma a garantir uma pressão semelhante em ambas as condições. Os volumes medidos diretamente no bico foram comparados aos valores de fluxo indicado pelo Arduino, realizando-se três medições com tensões distintas, de forma a correlacionar o fluxo medido diretamente na saída do bico com o indicado pelo Arduino.

A câmara de estanqueidade foi fixada na parede com uso de doze barras rosqueadas e tarugos de madeira. Foi aplicado silicone à base de ácido acético nas borrachas da câmara

para vedar a passagem de ar e água por suas laterais e facilitar o controle da pressão pneumática interna (Figura 60).

Figura 60 - Sequência de fixação da câmara de estanqueidade: a) aspecto da parede sem furos; b) furação da parede com brocas de vídea; c) aspecto da parede com furos; d) aplicação de silicone; e) ajuste dos tarugos na face interna; f) posicionamento final da câmara para realização do ensaio.



Fonte: Autor.

Após a fixação da câmara e aperto dos parafusos foi aplicada na interface entre a lateral da câmara e a parede uma camada extra de silicone para garantir a vedação. Este procedimento foi feito com pelos menos 12 horas de antecedência ao início do ensaio. A recomendação da ABNT NBR 15.755-4:2013 é de que se use cera de abelha ou similar para vedação das laterais da câmara.

Em função do que foi observado durante os ensaios, a vedação da câmara de estanqueidade junto à parede com auxílio de silicone a base de ácido acético apresentou um resultado satisfatório. Não foram detectados vazamentos nas laterais da câmara e, mesmo após a retirada das barras rosqueadas de fixação, a retirada da câmara da parede ao final do ensaio exigiu bastante esforço, causando danos à pintura. Na Figura 61, pode-se observar o aspecto da parede e das borrachas de vedação da câmara de estanqueidade após a retirada do equipamento.

Figura 61 - Aspecto da parede e das borrachas de vedação após a retirada da câmara de estanqueidade.



a)

b)

Fonte: Autor.

No local entre o rebaixo do revestimento na região da junta e a base da câmara de estanqueidade ocorreu um ponto de acúmulo de água. A ABNT NBR 15.575-4:2013 recomenda que não haja pontos de acumulação de água na parede. No entanto, este acúmulo ocorreu somente sobre a manta de elastômero EPDM aplicada na interface, o que não prejudicou a realização do ensaio de estanqueidade à água.

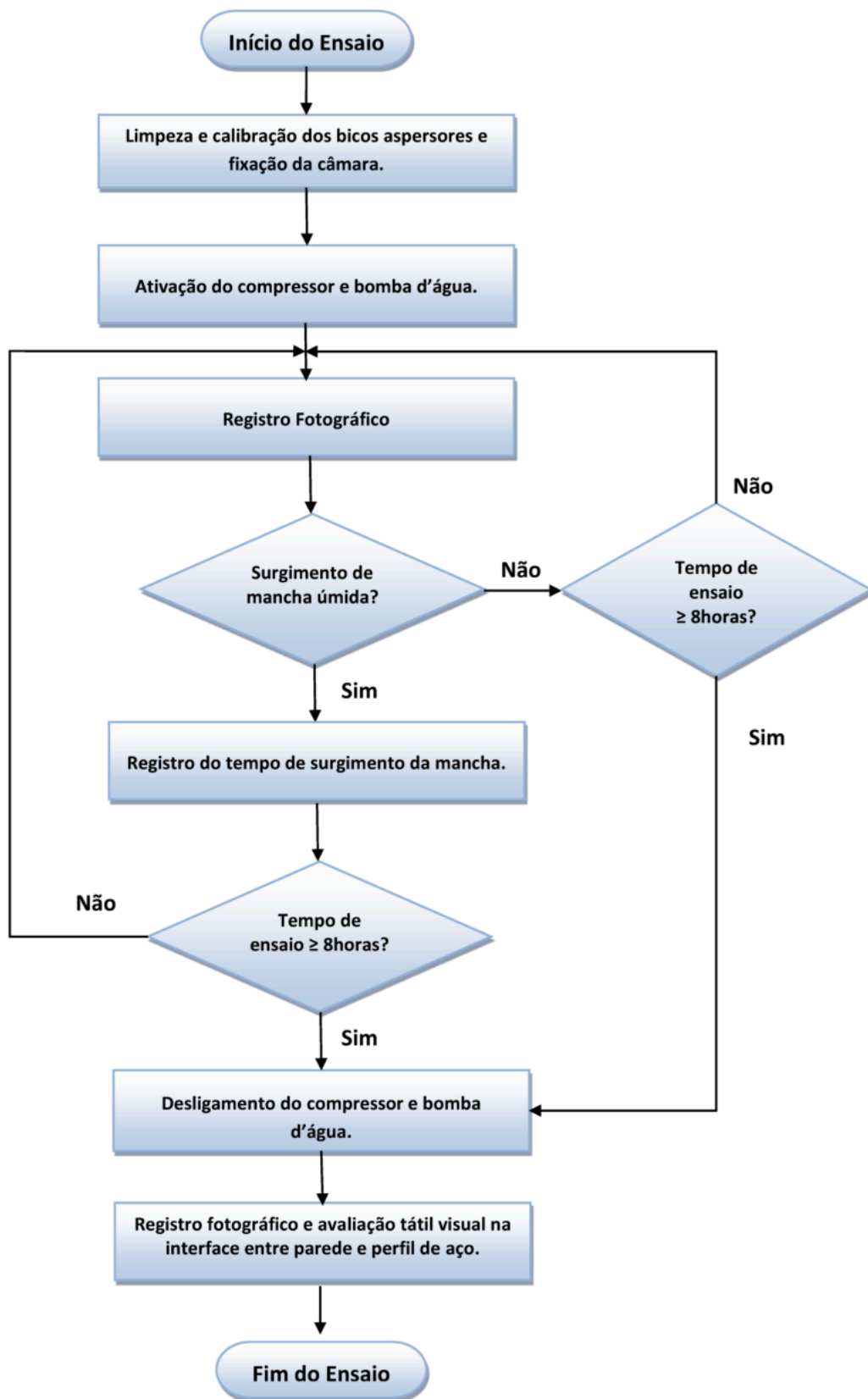
O ensaio foi iniciado com o acionamento da bomba d'água e do compressor e ajuste da pressão pneumática interna da câmara para 400 Pa. Foram feitos três registros fotográficos da face interna da parede a cada 30 minutos de ensaio, registrando-se a temperatura e umidade relativa do ar, tanto do ambiente, quanto do interior da câmara.

Caso ocorressem manchas de umidade na face interna, os registros fotográficos e anotações deveriam ser realizadas a cada 15 minutos. A ABNT NBR 15.577-4:2013

prescreve que o ensaio deve ter duração de 7 horas. No entanto, neste trabalho, optou-se por prolongar o tempo de ensaio em 1 hora. Caso ocorresse alguma mancha de umidade, o ensaio era prorrogado por mais uma hora além do momento de detecção da mancha, sempre respeitando-se o tempo mínimo de 8 horas.

Ao final do ensaio foram realizados registros fotográficos extras na face interna da parede sem a caixa de EPS. Também foi feita uma inspeção tátil visual na interface entre a parede e o perfil de aço na face interna do modelo. Esta avaliação teve como objetivo verificar se não havia ocorrido infiltração na interface, sobretudo ao longo dos perfis de aço. Na Figura 62 é apresentado um fluxograma do ensaio de estanqueidade à água.

Figura 62 – Fluxograma do ensaio de estanqueidade à água.



Fonte: Autor.

4

Resultados e Discussão

Neste capítulo apresenta-se a descrição de casos recentes de aplicação de manta de elastômero EPDM para tratamento de juntas nas interfaces entre alvenaria e estrutura de aço com manta de elastômero EPDM, os resultados e discussão sobre a avaliação de desempenho quanto à estanqueidade à água e durabilidade dos casos de interface selecionados, tratadas com manta de elastômero EPDM e submetidas aos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico e de estanqueidade à água.

Para cada grupo são apresentadas as seguintes informações:

Os resultados foram agrupados e ordenados em função dos casos de interface estudados, do tipo de junta e da repetição do modelo conforme mostrado na Figura 17 do item 3.3.1. Para cada grupo são apresentadas as seguintes informações:

- registro das observações e resultados coletados durante e após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Foram monitorados o surgimento de fissuras, as alterações da manta de elastômero EPDM e da região próxima às juntas e os deslocamentos relativos entre alvenaria e perfil em aço;
- registro das observações e resultados coletados durante o ensaio de estanqueidade à água. Foi monitorada a ocorrência de manchas de umidade na face interna do modelo.

Em relação aos resultados dos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico, é importante destacar que a utilização de cunhas e escoras de madeira para minimizar as perdas de calor pela lateral do painel radiante, conforme descrito no item 3.4.2 gerou perturbações nas leituras dos DTs. Por este motivo alguns gráficos gerados em função dos deslocamentos relativos são apresentados em grupo de menos de cinco ciclos, pois as perturbações alteravam o ponto zero dos deslocamentos no início de alguns ciclos.

4.1. Descrição de casos recentes de obras

4.1.1. Considerações preliminares

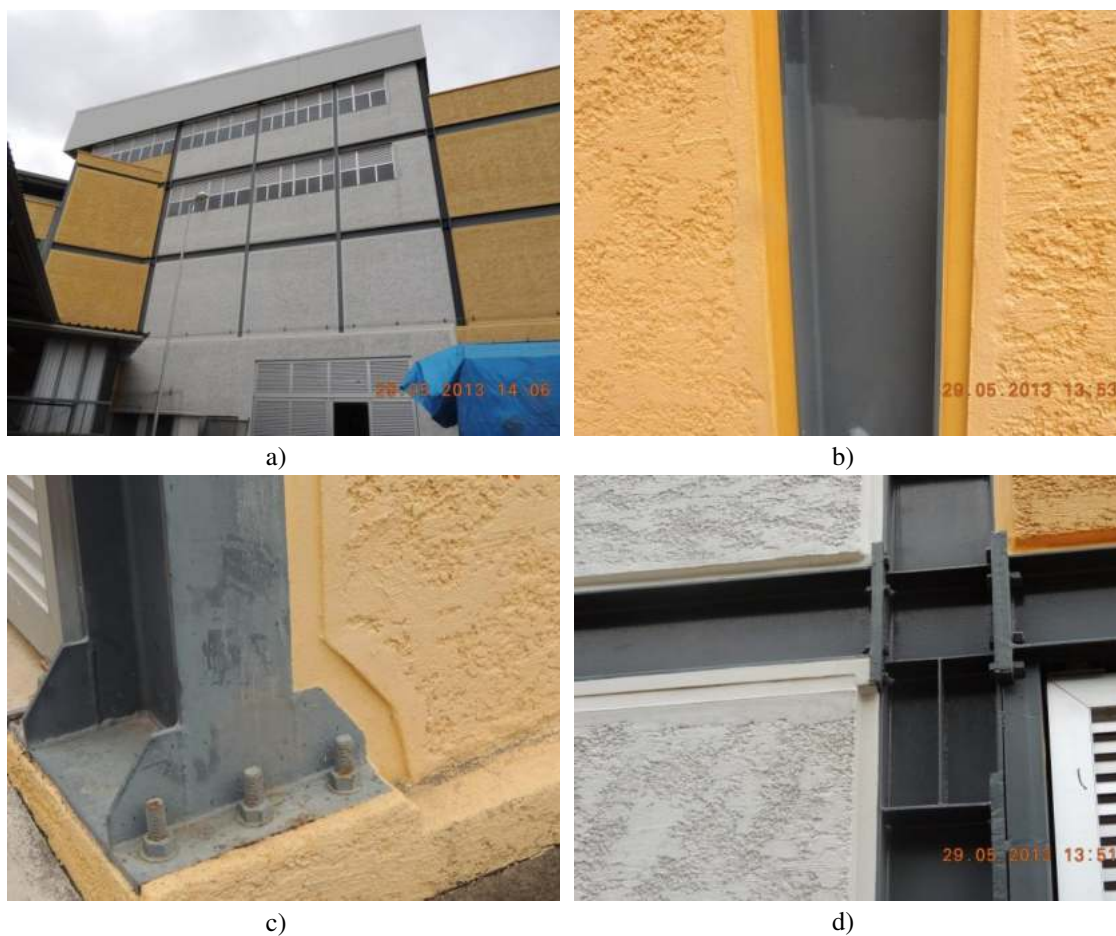
Neste item são apresentados alguns casos recentes de aplicação de manta de elastômero EPDM para tratamento de juntas em interfaces, em obras realizadas na UFMG e na UFV.

4.1.2. Obras realizadas na UFMG

O Edifício do Laboratório de Análise Experimental de Estruturas (LAAES) da Escola de Engenharia da UFMG (EE/UFMG) foi construído em estrutura de aço e SSVE em alvenaria desvinculada, contida no plano da estrutura.

Neste edifício foram soldadas cantoneiras nas vigas e pilares de aço para contenção lateral da alvenaria, criando-se assim uma junta de movimentação entre alvenaria e estrutura em aço. As juntas verticais e horizontais presentes nas interfaces entre a alvenaria e perfis de aço foram tratadas com manta de elastômero EPDM. Na Figura 63 apresenta-se um aspecto geral da fachada do edifício e alguns detalhes do tratamento das juntas das interfaces com manta de elastômero EPDM.

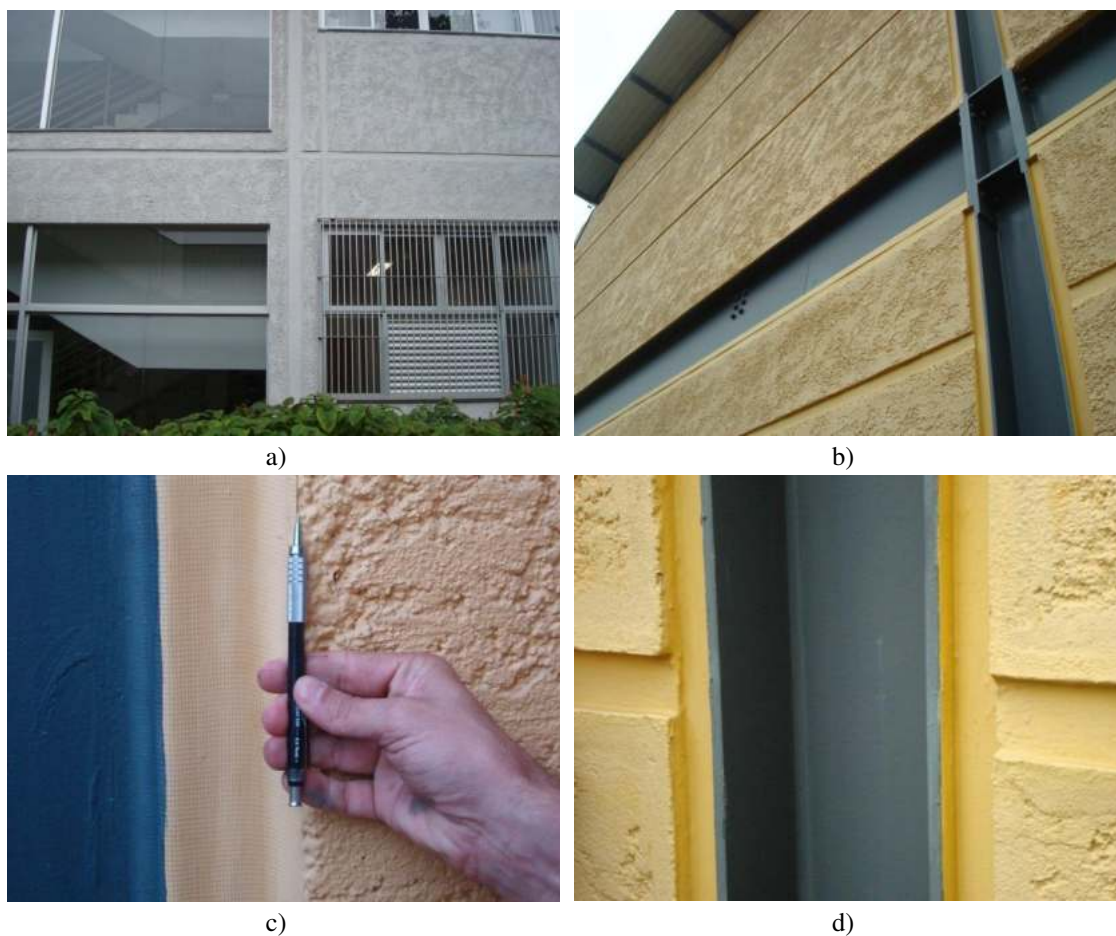
Figura 63 – Aspecto geral e detalhes das interfaces entre alvenaria e aço no edifício do LAAES/UFMG.



Fonte: Acervo José Luiz Rangel Paes.

Ainda no âmbito da UFMG, o Edifício da Escola de Engenharia, situado no *campus* Pampulha, foi construído em estrutura de aço com SVVE em alvenaria desvinculada, contida no plano da estrutura. Da mesma forma que o edifício descrito anteriormente, a desvinculação entre alvenaria e perfis de aço foi realizada com auxílio de cantoneiras soldadas nas vigas e pilares. As juntas verticais e horizontais presentes nas interfaces entre alvenaria e perfis de aço foram tratadas com manta de elastômero EPDM. Na Figura 64 apresenta-se um aspecto geral das fachadas do edifício e alguns detalhes do tratamento das juntas das interfaces com manta de elastômero EPDM.

Figura 64 - Aspecto geral e detalhes das interfaces entre alvenaria e aço no edifício EE/UFMG.



Fonte: Acervo José Luiz Rangel Paes.

4.1.3. Obras realizadas na UFV

O Edifício do Pavilhão de Aulas II (PVB) localizado no campus de Viçosa possui três pavimentos e uma área total de 4085 m². O edifício é composto por salas de aula e auditórios. A conclusão da construção ocorreu no ano 2000. O PVB foi construído em estrutura de aço e SVVE composto por alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado, da marca Sical®. A alvenaria, inserida no plano da estrutura, foi desvinculada da estrutura por meio de cantoneiras soldadas nos perfis de aço e colocação de EPS na interface entre alvenaria e estrutura de aço.

Após algum tempo de uso, surgiram diversas manifestações patológicas causadas principalmente por passagem de água por meio das interfaces entre a alvenaria e a estrutura em aço.

Ao longo do ano de 2018, foi iniciada a reforma da cobertura e das fachadas desse edifício, com vistas a sanar os problemas identificados anteriormente. Nesse contexto,

decidiu-se realizar o tratamento de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço e fissuras na alvenaria com a aplicação de manta de elastômero EPDM. Na Figura 65 pode-se observar um aspecto geral de uma das fachadas do edifício e alguns detalhes do tratamento aplicado na recuperação.

Figura 65 – Aspecto geral e detalhes do edifício PVB/UFV após o tratamento das interfaces com manta de elastômero EPDM.



Fonte: Autor.

O Edifício da Comissão Permanente de Vestibulares e Exames (COPEVE), situado no *campus* de Viçosa, possui três pavimentos e uma área de 1.667 m². O edifício é composto basicamente por salas multiuso para elaboração de provas e ambientes para fins administrativos. A conclusão da construção ocorreu no ano 2004. O edifício conta com uma estrutura de aço com SVVE em alvenaria de painéis de concreto celular autoclavado, desvinculada e inserida no plano da estrutura. A face externa das vigas de aço dispostas nas fachadas desse edifício foi revestida com placas de cimento amianto e durante a execução não foram executados os contraventamentos da estrutura previstos em projeto.

Albrecht et al. (2008) realizaram um estudo deste edifício e concluíram que a maioria das manifestações patológicas foi provocada por infiltrações por meio das juntas das interfaces entre o SVVE e os perfis de aço.

Pelo que foi observado ao longo do tempo, a falta de contraventamentos na estrutura desse edifício levou à ocorrência de deslocamentos horizontais de grande magnitude e provocou a fissuração das juntas verticais entre alvenaria e pilares de aço, que não receberam nenhum tipo de tratamento. A falta de tratamento adequado e detalhamento específico das interfaces entre alvenaria e estrutura de aço, somadas à ausência de contraventamentos, permitiram a entrada de água por meio das interfaces e foram a causa principal das manifestações patológicas identificadas nesse edifício. Houve uma grande degradação do aspecto estético do edifício em um curto espaço de tempo e um comprometimento de seu uso.

Desde o ano de 2017, esse edifício vem sofrendo um amplo processo de requalificação arquitetônica e estrutural, envolvendo inclusive uma mudança de uso. Esse edifício será destinado ao Registro Escolar da UFV.

Os serviços de requalificação estrutural desse edifício envolveram a remoção das placas de cimento amianto que revestiam as vigas de aço, a instalação de contraventamentos, a execução de detalhes construtivos condizentes com uma alvenaria desvinculada e inserida no plano da estrutura e o tratamento das juntas nas interfaces. Para a instalação dos contraventamentos, alguns painéis de parede foram retirados e reconstruídos com blocos cerâmicos. As juntas verticais e horizontais das interfaces foram tratadas com manta de elastômero EPDM. Na Figura 66 pode-se observar um aspecto geral do edifício antes e durante a execução da requalificação geral e alguns detalhes do tratamento aplicado nas interfaces.

Figura 66 - Aspecto geral do edifício da COPEVE/UFV:

a) aspecto geral da edificação antes da requalificação; b) aspecto geral da edificação durante a execução da requalificação; c) detalhe de um contraventamento introduzido na estrutura e interface entre a alvenaria e o perfil de aço; d) detalhe da interface tratada com manta de elastômero EPDM; e) detalhe da viga de aço sob a placa de cimento amianto; f) detalhe da viga de aço após a retirada da placa de amianto e após o tratamento com manta de elastômero EPDM.



a)



b)



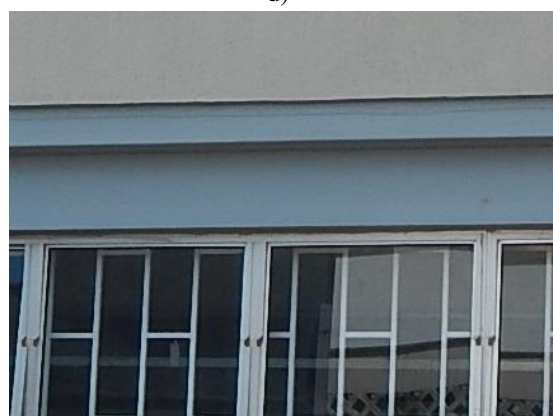
c)



d)



e)



f)

Fonte: Acervo José Luiz Rangel Paes.

O Edifício da Coordenadoria de Educação Aberta e a Distância (CEAD), situado no *campus* de Viçosa possui três pavimentos e uma área de 1962 m². O edifício é composto

basicamente por salas de aula, auditório, sala de vídeo conferência e estúdios de edição de imagem e som. A conclusão da construção ocorreu no ano 2012.

O edifício conta com uma estrutura de aço e SVVE em alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado, desvinculada da estrutura, com panos descontínuos, posicionada fora do plano da estrutura. Na Figura 67 apresenta-se um aspecto geral do edifício e um detalhe do sistema de desvinculação da alvenaria de bloco autoclavado.

Figura 67 – Edifício CEAD/UFV:
a) aspecto geral do edifício; b) detalhe do sistema de desvinculação da alvenaria.



Fonte: Autor.

Os perfis das vigas de aço foram fechados com o uso de placas de concreto pré-moldado. A interface entre as placas cimentícias e a laje de concreto foi tratada com aplicação de selante. Um detalhe desta solução construtiva é apresentado na Figura 68.

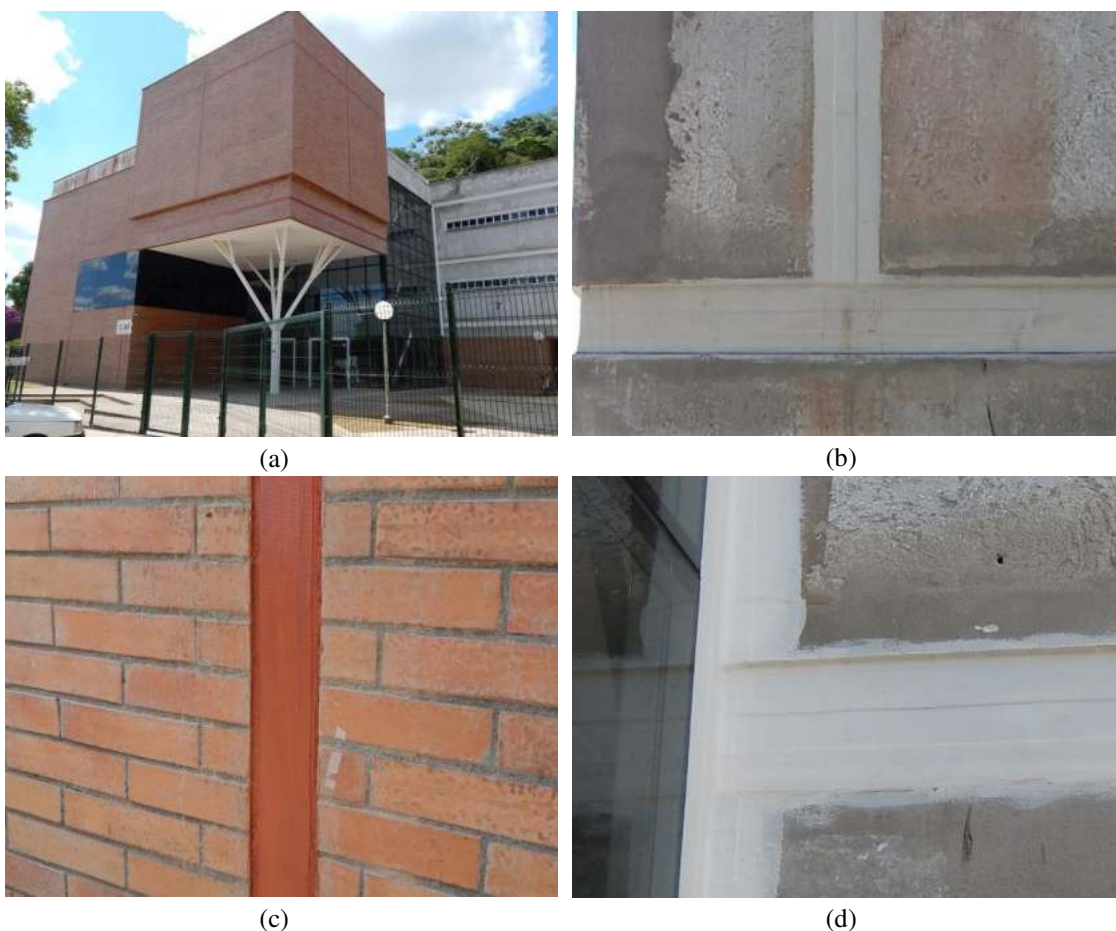
Figura 69 – Aspecto do fechamento lateral das vigas de aço após a execução na CEAD/UFV.



Fonte: Autor.

Desde o ano de 2017, esse edifício vem sofrendo uma intervenção que envolve a substituição do selante à base de poliuretano nas juntas horizontais e verticais por manta de elastômero EPDM e a execução de novas juntas horizontais na região do arremate lateral da laje. Na Figura 70 é apresentado um aspecto geral do edifício após o tratamento das juntas das interfaces.

Figura 70 – Edifício da CEAD/UFV: Aspecto geral e detalhes do tratamento com manta de elastômero EPDM.



Fonte: Autor.

O Edifício do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCB-II), também localizado no campus de Viçosa possui seis pavimentos e uma área total de 6.507 m². O edifício é composto por laboratórios para atividades de pesquisa e ensino para os cursos relacionados à área de Ciências Biológicas. A conclusão da construção ocorreu no ano 2008.

O CCB-II foi construído em estrutura de aço e SVVE composto por alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado, desvinculada da estrutura de aço. Na fachada frontal e posterior deste edifício, a alvenaria está situada fora do plano da estrutura com perfis de aço posicionados fora do plano de fechamento. Nas demais fachadas, a alvenaria é contida no plano da estrutura. A alvenaria inserida no plano da estrutura foi desvinculada da estrutura por meio de perfis tipo “U” formados a frio, soldados nas vigas e pilares de aço, e colocação de EPS na interface entre alvenaria e perfis de aço.

Santos (2016) realizou um estudo deste edifício e concluiu que a maioria das manifestações patológicas identificadas, como corrosão dos perfis e deterioração do revestimento das paredes, foram causadas principalmente pela entrada de água de chuva por meio das interfaces entre alvenaria e perfis de aço. O projeto de recuperação do SVVE deste edifício foi desenvolvido pela Arq^a Mariana Araújo dos Santos com a utilização de manta de elastômero EPDM para tratamento das interfaces entre alvenaria e estrutura de aço. A recuperação deste edifício foi executada no período de 2014 a 2016 e seus aspectos mais relevantes são apresentados em Santos (2016). Na Figura 71 pode-se constatar o aspecto antes e após o tratamento das juntas nas interfaces.

Figura 71 – Edifício do CCBII / UFV: a) aspecto geral antes da recuperação; b) aspecto geral após a recuperação; c) interface entre SVVE e viga de aço antes da recuperação; d) interface entre SVVE e viga de aço após a recuperação; e) interface entre SVVE e elemento do contraventamento antes da recuperação; f) interface entre SVVE e elemento do contraventamento após a recuperação.



a)



b)



c)



d)



e)



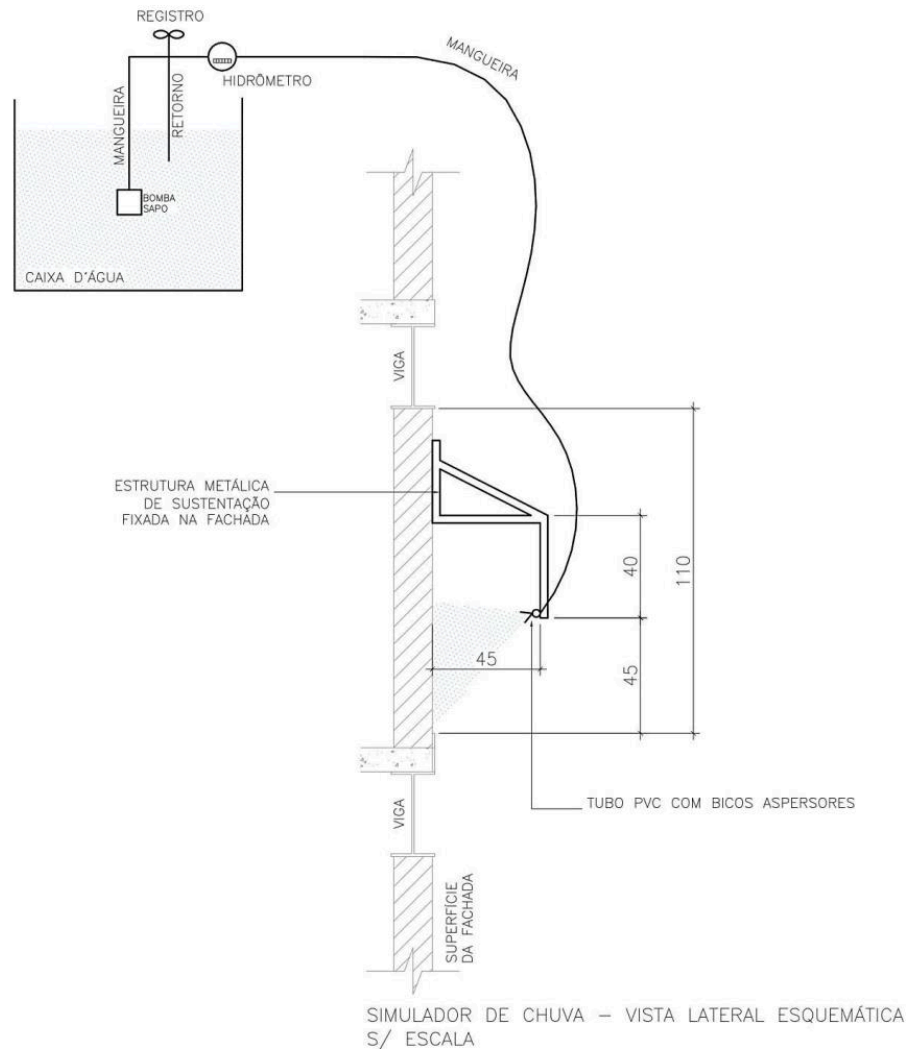
f)

Fonte: Acervo José Luiz Rangel Paes.

Após o tratamento das interfaces entre alvenaria e estrutura de aço do Edifício do CCB-II foi realizado um ensaio qualitativo de incidência de chuva em uma das fachadas do edifício. O local escolhido, que corresponde a uma das caixas de escada da extremidade do edifício, foi o que apresentou os problemas mais relevantes devido à

passagem de água de chuva por meio das interfaces entre alvenaria e perfis de aço. De forma geral, o ensaio simulou uma chuva incidente na fachada com intensidade aproximada de 105 mm/h, por um período de 20 minutos. Nas Figura 72 e Figura apresenta-se um esquema do ensaio realizado e um registro fotográfico no instante do ensaio, respectivamente.

Figura 72 - Esquema do ensaio de simulação de chuva in loco, em uma fachada do Edifício do CCB-II.



Fonte: Santos (2016).

Figura 73 – Aspecto geral do ensaio de incidência de chuva em uma das fachadas Edifício do CCB-II.



Fonte: Santos (2016).

4.1.4. Discussão

Com base na descrição dos casos de aplicação de manta de elastômero EPDM para tratamento de juntas em interfaces, nota-se que, sob o ponto de vista construtivo, conseguiu-se a impermeabilização das juntas, assim como não foi observada degradação das mesmas.

Com a realização do ensaio qualitativo realizado por Santos (2016), observou-se que o tratamento das interfaces com manta de elastômero EPDM não mais permitiu a entrada de água por meio das interfaces. No entanto, Santos (2016) ressalta que para se fazer afirmações mais conclusivas sobre o desempenho do tratamento utilizado quanto à estanqueidade à água, é necessário avaliar o tratamento utilizado ao longo do tempo, considerando-se a eventual degradação dos materiais devido ao seu envelhecimento, por meio de ensaios de envelhecimento acelerado e estanqueidade à água.

4.2. Interface INT1-JV-1

4.2.1. Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

a) Interface INT1-JV1-E1

Na Tabela 3 são apresentados os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico realizado sobre a interface INT1-JV1-E1 que corresponde ao primeiro exemplar de uma interface entre alvenaria e alma de um pilar de aço.

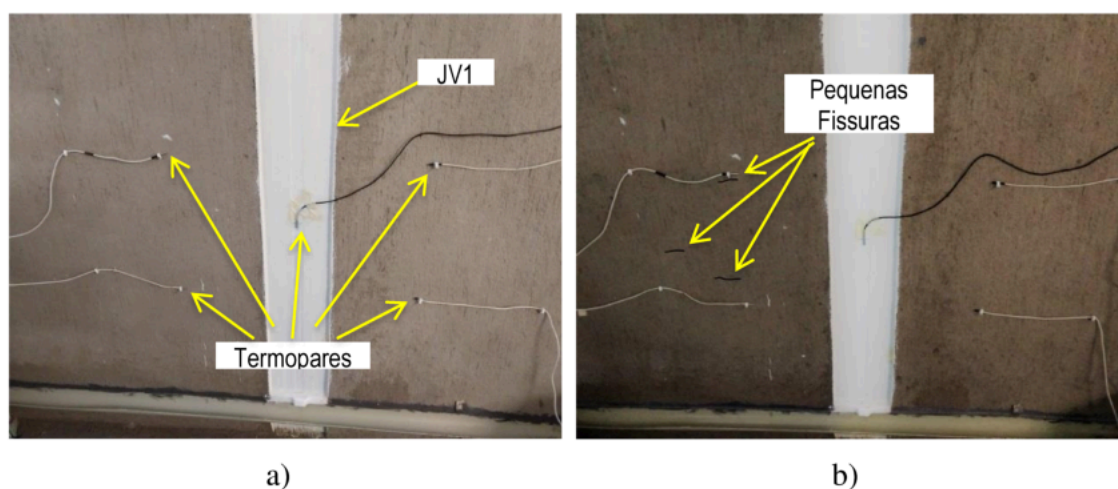
Tabela 3 – Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT1-JV1-E1.

Ciclo	Fase do ensaio	Temperatura nos termopares (°C)		Observações
		T _{par. média}	T _{junta}	
1	aquecimento	82,0	75,1	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,5	25,7	
2	aquecimento	79,7	88,7	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,9	21,9	
3	aquecimento	81,1	65	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,9	31,6	
4	aquecimento	82,3	78,5	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,4	32,1	
5	aquecimento	81,5	76,5	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,8	26,4	
6	aquecimento	81,8	78,1	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,9	25,8	
7	aquecimento	80,7	73,3	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,8	25,8	
8	aquecimento	80,4	75	Surgimento da Fissura 1 e 2.
	resfriamento	79,4	28,3	
9	aquecimento	81,0	76,2	Surgimento da fissura 3.
	resfriamento	24,9	30,6	
10	aquecimento	81,7	66,6	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,6	26,4	

Fonte: Autor.

O aspecto da interface INT1-JV1-E1 antes e após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico é apresentado na Figura 73.

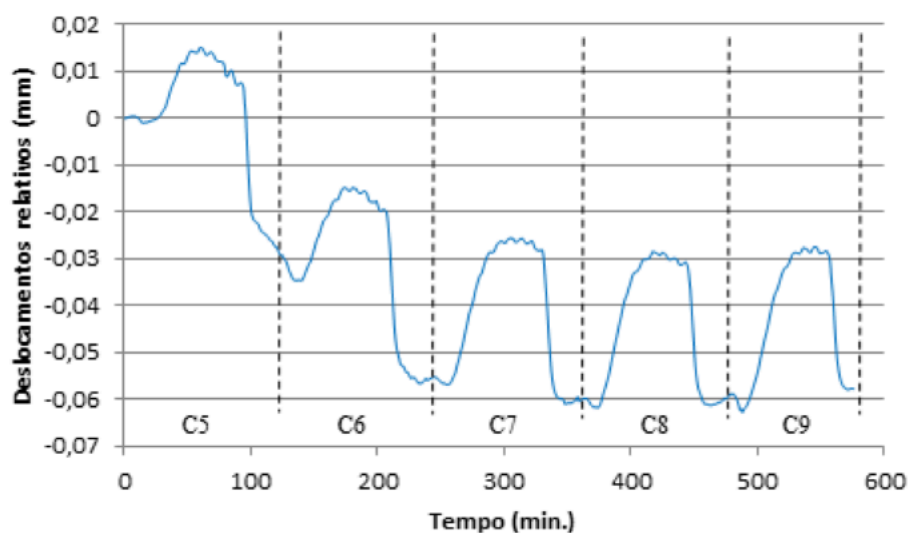
Figura 73 - Aspecto da interface INT1-JV1-E1: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: Autor.

Na Figura 74 é apresentado um gráfico com os deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço, medidos durante alguns dos ciclos do ensaio de exposição à ação de calor e choque térmico. Conforme descrito no item 3.4.2, foram utilizadas cunhas e escoras de madeira para minimizar as perdas de calor pela lateral do painel radiante, o que gerou perturbações nas leituras dos DTs em alguns ciclos do ensaio.

Figura 74 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço na interface INT1-JV1-E1, durante os ciclos C5 a C9.

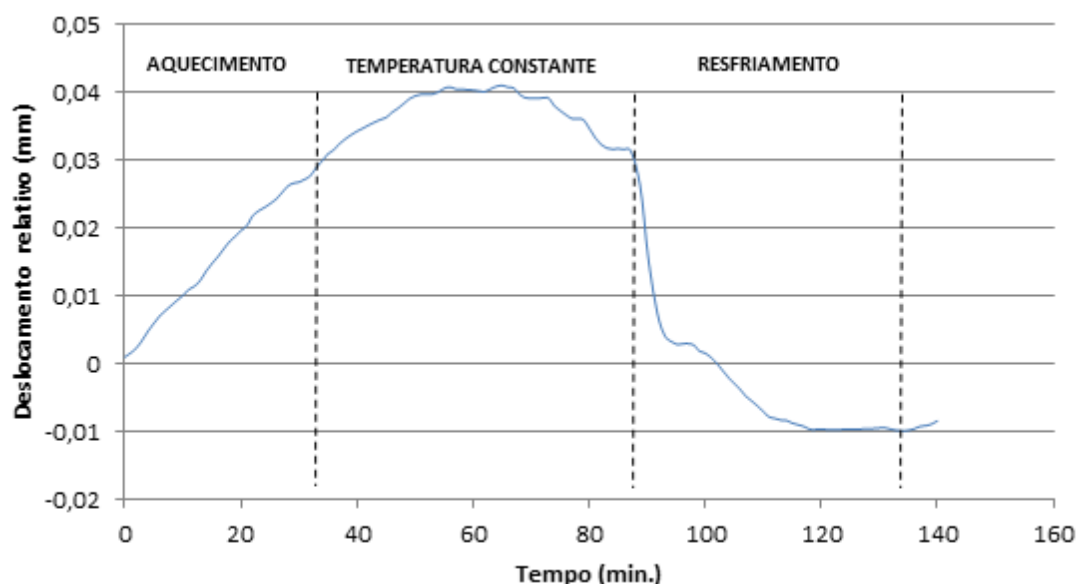


Fonte: Autor.

Na Figura 74 pode-se observar que a expansão máxima observada na interface INT1-JV1-E1 foi de 0,015 mm, enquanto que a contração máxima foi de 0,062 mm.

Na Figura 75 é apresentado um gráfico dos deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço durante o ciclo 1 do ensaio de exposição à ação do calor e resfriamento na interface INT1-JV1-E1.

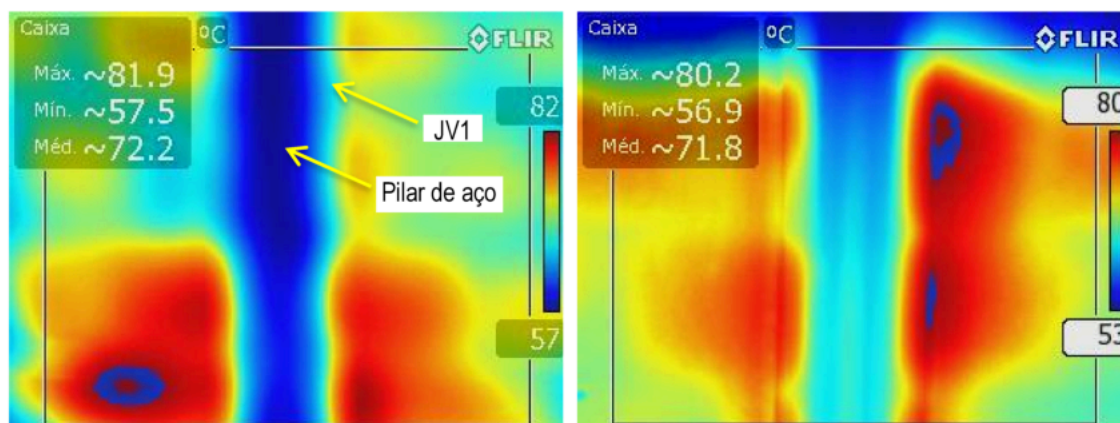
Figura 75 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço medidos no ciclo 1 do ensaio, na interface INT1-JV1-E1.



Fonte: Autor

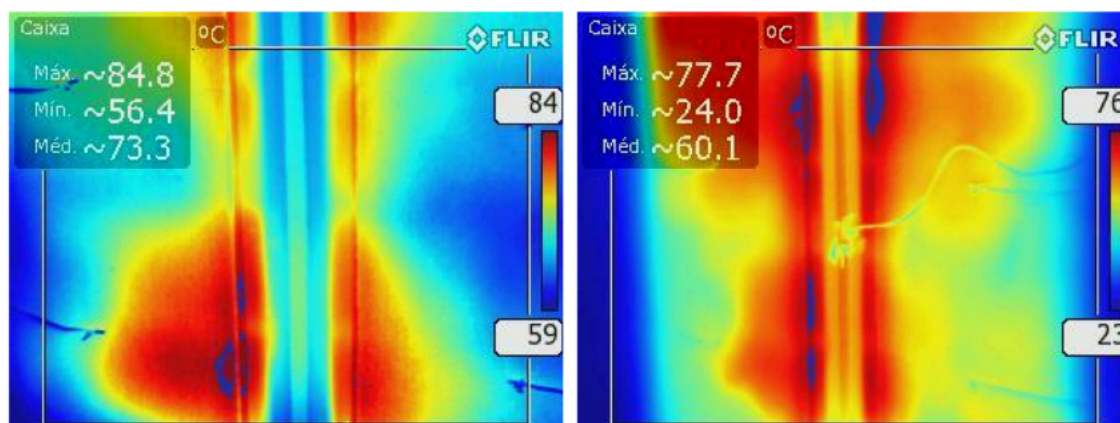
Na Figura 76 são apresentadas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, por meio das quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face externa do modelo após a fase de aquecimento da interface INT1-JV1-E1. Essas imagens foram feitas após o afastamento do painel radiante do modelo, antes do início da fase de resfriamento.

Figura 76 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E1, logo após o final da fase de aquecimento.



a) após fase de aquecimento do ciclo 1

b) após fase de aquecimento do ciclo 4



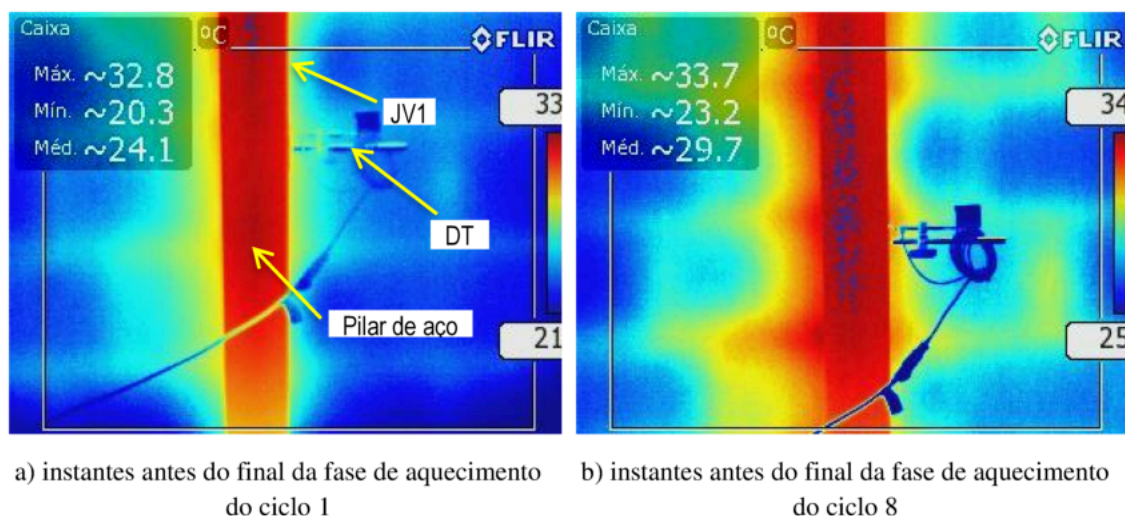
c) após fase de aquecimento do ciclo 8

d) após fase de aquecimento do ciclo 10

Fonte: Autor.

Na Figura 77 são apresentas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, nas quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face interna do modelo instantes antes do final da fase de aquecimento da interface INT1-JV1-E1.

Figura 77 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E1, instantes antes do final da fase de aquecimento.



Fonte: Autor.

As planilhas com todos os dados coletados durante o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico em todos os casos de interfaces avaliados são apresentadas no Apêndice A.

b) Interface INT1-JV1-E2

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico realizado sobre a interface INT1-JV1-E2 que corresponde ao segundo exemplar de uma interface entre alvenaria e alma de um pilar de aço.

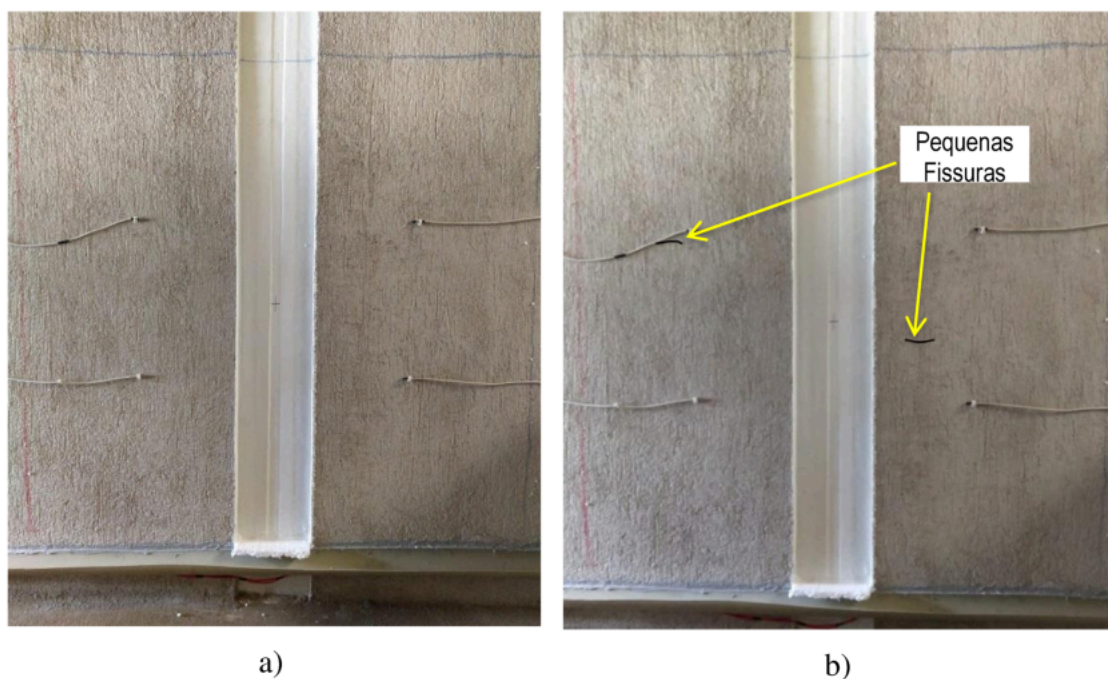
Tabela 4 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT1-JV1-E2.

Ciclo	Fase do ensaio	Temperatura nos termopares (°C)		Observações
		T _{par. média}	T _{junta}	
1	aquecimento	82,0	86,4	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,8	25,9	
2	aquecimento	79,4	91,4	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,8	24,6	
3	aquecimento	79,1	92,9	Surgimento da fissura 1.
	resfriamento	23,5	24,3	
4	aquecimento	79,3	83,4	Surgimento da fissura 2.
	resfriamento	23,5	24,9	
5	aquecimento	79,8	84,1	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	22,9	22,9	
6	aquecimento	80,1	78,1	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,2	23	
7	aquecimento	79,9	83,3	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,1	24,2	
8	aquecimento	81,1	85,2	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,6	25,5	
9	aquecimento	81,4	85,5	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,4	24,1	
10	aquecimento	81,7	85,2	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,5	25,3	

Fonte: Autor.

O aspecto da interface INT1-JV1-E2 antes e após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico é apresentado na Figura 78.

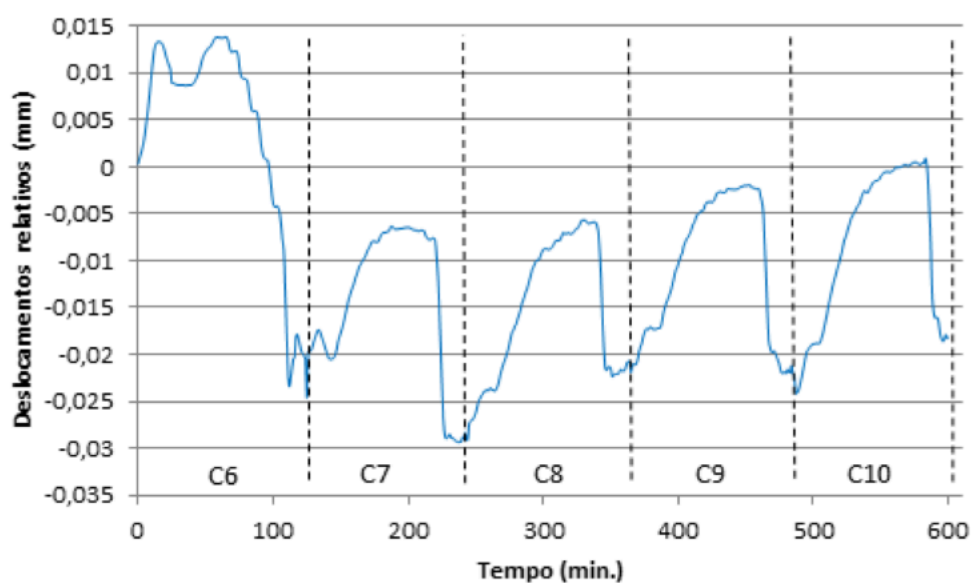
Figura 78 - Aspecto da interface INT1-JV1-E2: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: Autor.

Na Figura 79 é apresentado um gráfico com os deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço, medidos durante alguns dos ciclos do ensaio de exposição à ação de calor e choque térmico.

Figura 79 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e perfil de aço na interface INT1-JV1-E2, durante os ciclos C6 a C10.

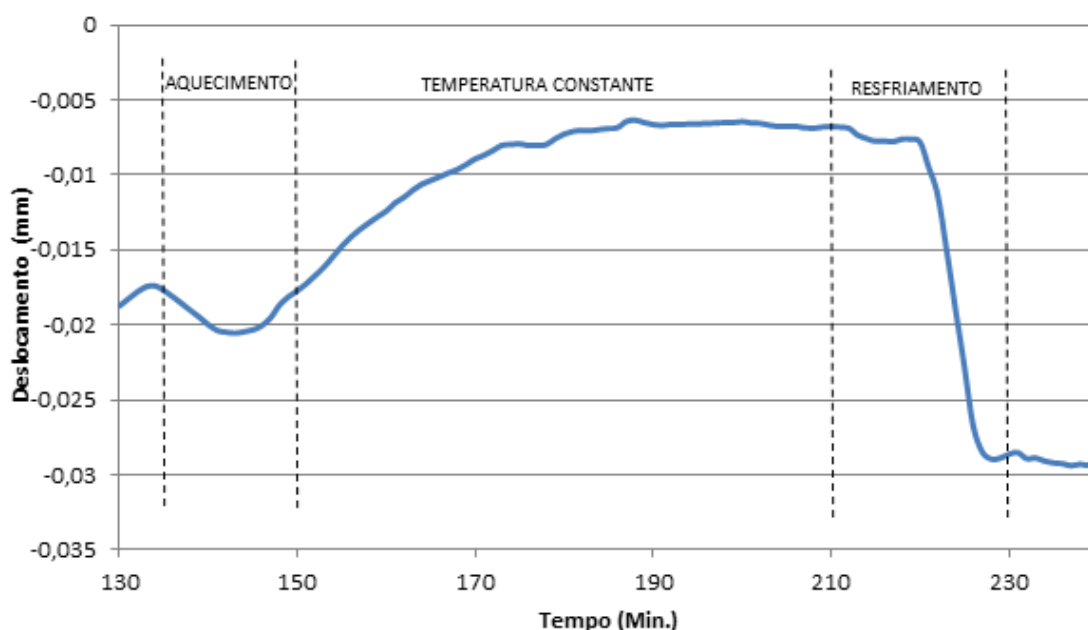


Fonte: Autor.

Na Figura 79 pode-se observar que a expansão máxima observada na interface INT1-JV1-E1 foi de 0,014 mm, enquanto que a contração máxima foi de 0,029 mm.

Na Figura 80 é apresentado um gráfico dos deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço durante o ciclo 7 do ensaio de exposição à ação do calor e resfriamento na interface INT-1-JV1-E2.

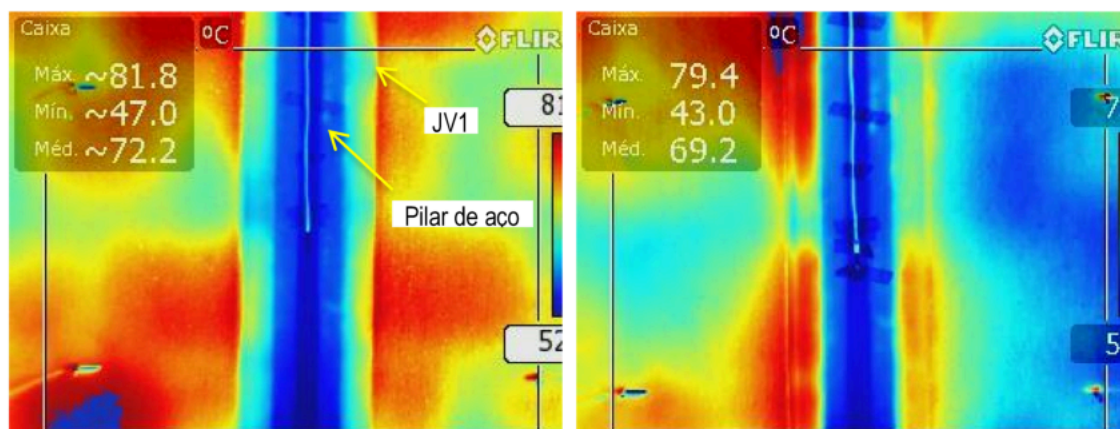
Figura 80 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço medidos no ciclo 7 do ensaio, na interface INT1-JV1-E2.



Fonte: Autor.

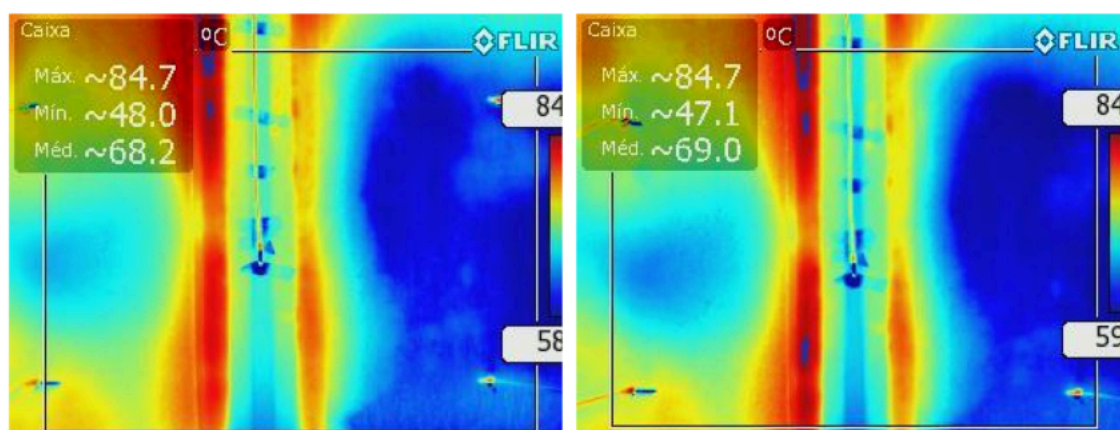
Na Figura 81 são apresentadas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, por meio das quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face externa do modelo após a fase de aquecimento da interface INT1-JV1-E2.

Figura 81 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E2, logo após o final da fase de aquecimento.



a) após fase de aquecimento do ciclo 1

b) após fase de aquecimento do ciclo 6



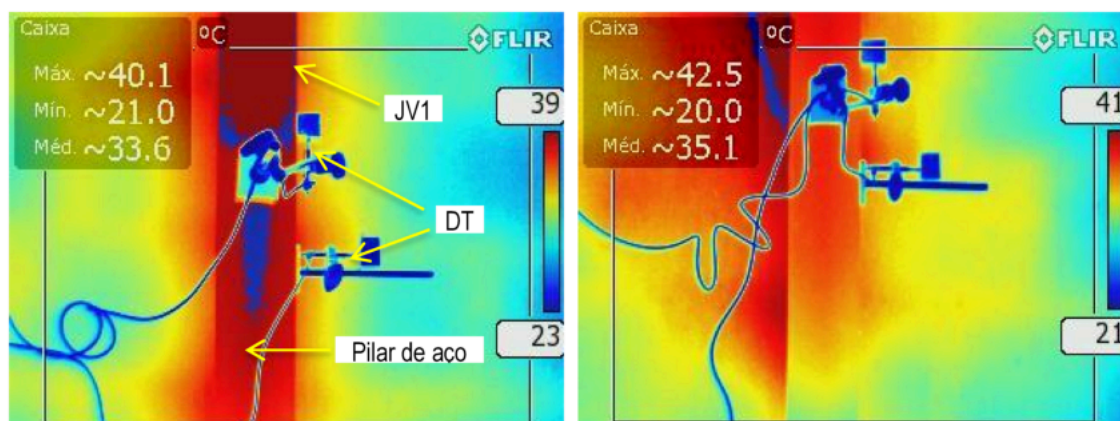
c) após fase de aquecimento do ciclo 8

d) após fase de aquecimento do ciclo 10

Fonte: Autor.

Na Figura 82 são apresentas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, nas quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face interna do modelo instantes antes do final da fase de aquecimento da interface INT-1-JV1-E2.

Figura 82 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E2, instantes antes do final da fase de aquecimento.



a) instantes antes do final da fase de aquecimento do ciclo 1

a) instantes antes do final da fase de aquecimento do ciclo10

Fonte: Autor.

c) Discussão

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4 pode-se notar que durante os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico foram observados apenas pequenos danos na face externa da região ensaiada nos dois exemplares da interface INT1-JV1. Os danos identificados foram pequenas fissuras horizontais próximas aos locais onde foram fixados os termopares. Na região da junta vertical JV1, que recebeu o tratamento com manta de elastômero EPDM, não foi observada nenhuma alteração a olho nu.

Com base nos deslocamentos relativos mostrados na Figura 74 e na Figura 79, pode-se notar que no primeiro ciclo do ensaio houve uma pequena expansão da parede na fase de aquecimento e estabilização da temperatura, seguido de uma contração de maior magnitude. Após o primeiro ciclo do ensaio a parede acumulava uma retração residual.

A partir do terceiro ciclo do ensaio notou-se que houve uma estabilização dos deslocamentos relativos, sendo a magnitude de expansão semelhante à magnitude de contração (Figura 74 e Figura 79).

De acordo com a Figura 75 e a Figura 80, houve uma expansão da parede durante a fase de aquecimento e em parte da fase de temperatura constante. A partir de um determinado momento, ainda na fase de temperatura constante, iniciou-se uma contração da parede.

Isto contraria uma expectativa inicial de que, sob temperatura constante, deveria haver uma estabilização dos deslocamentos relativos. Esta contração pode ser explicada pela perda de água da parede durante a fase de temperatura constante.

Um comportamento semelhante ao observado nos ensaios do presente trabalho foi identificado por Fontenelle (2012) e Oliveira et al. (2014), que mediram os deslocamentos relativos entre placas cimentícias durante um ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.

Segundo Laska (1993), o movimento diferencial entre alvenaria e o aço ocorre devido a diferenças entre as propriedades destes materiais, que reagem de forma distinta quando sujeitos a mudanças extremas de temperatura. Esta movimentação diferencial, ou relativa, foi observada nos resultados obtidos por meio do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico (Figura 62 e Figura 79).

Os deslocamentos relativos observados na junta vertical JV1 (Figura 74 e Figura 79) evidenciam que a interface entre a alvenaria e a alma do pilar de aço permitiu efetivamente a movimentação relativa entre as partes, caracterizando o comportamento de uma interface desvinculada. Ficou também evidenciado que a interface desvinculada foi capaz de suportar movimentações diferenciais de forma satisfatória, sem introduzir danos à junta e à alvenaria.

Na face externa dos modelos, as maiores temperaturas ocorreram próximo à junta vertical (JV1) (Figura 76 e Figura 81). Conforme observado durante os ensaios, em alguns momentos da fase de aquecimento o termopar situado sobre a junta registrou temperaturas superiores a 83° C (Tabela 3 e Tabela 4). Nas imagens termográficas da face externa do modelo experimental (Figura 76 e Figura 81), realizadas logo após o final da fase de aquecimento, pode-se notar que a temperatura no perfil de aço sempre foi menor do que na alvenaria, visto que o aço se resfria mais rapidamente. Além disso, a falta de uniformidade na distribuição de temperaturas (Figura 76 e Figura 81) se deve à rápida variação da temperatura na face externa do modelo logo após o afastamento do painel radiante.

De acordo com a Figura 77 e a Figura 82, as temperaturas observadas na face interna do modelo experimental foram muito inferiores às registradas na face externa (Figura 76 e Figura 81), sendo próximas à temperatura ambiente.

4.2.2. Ensaio de Estanqueidade à Água

a) Interface INT1-JV1-E1

Durante a realização do ensaio de estanqueidade à água sobre a interface INT1-JV1-E1, que corresponde ao primeiro exemplar de uma interface entre alvenaria e alma de um pilar de aço, não foi registrada nenhuma mancha de umidade, nem mesmo na base do pilar da região ensaiada. Na Figura 83 mostra-se a face interna do modelo no início e no final do ensaio de estanqueidade à água.

Figura 83 – Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E1, durante o ensaio de estanqueidade à água.



a) Início do ensaio

b) Final do ensaio (após 8 horas)

Fonte: Autor.

Após a retirada da caixa de EPS posicionada sobre a face interna da parede, a base do perfil foi inspecionada a fim de verificar possíveis infiltrações ou manchas de umidade. Não foi detectada nenhuma infiltração ou mancha nesse local (Figura 84).

Figura 84 – Aspecto da base do perfil de aço da interface INT1-JV1-E1 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.

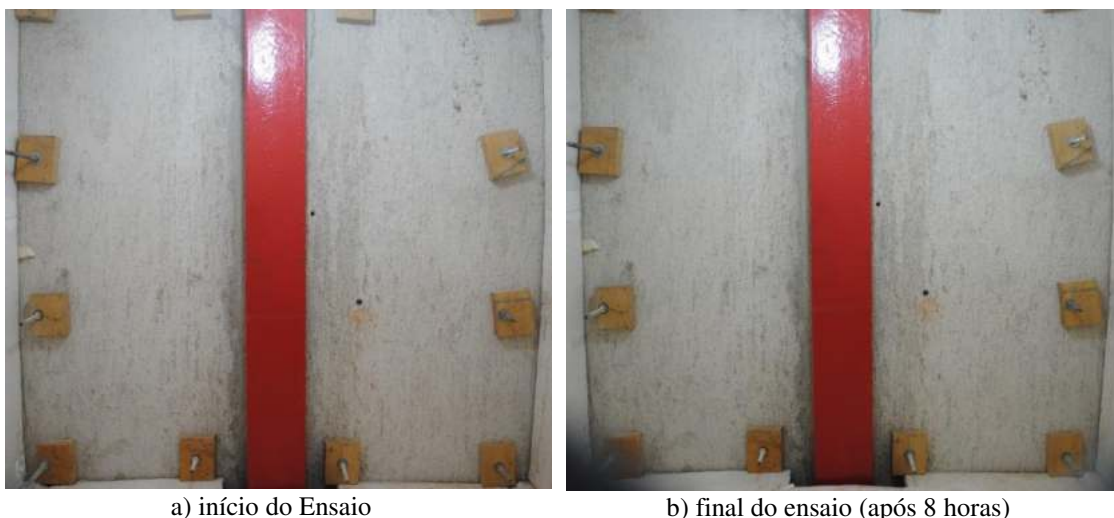


Fonte: Autor.

b) Interface INT1-JV1-E2

Durante a realização do ensaio de estanqueidade à água sobre a interface INT1-JV1-E2, que corresponde ao segundo exemplar de uma interface entre alvenaria e alma de um pilar de aço, não foi registrada nenhuma mancha de umidade, nem mesmo na base do pilar da região ensaiada. Na Figura 85 mostra-se a face interna do modelo no início e no final do ensaio de estanqueidade à água.

Figura 85 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT1-JV1-E2, durante o ensaio de estanqueidade à água.



a) início do Ensaio

b) final do ensaio (após 8 horas)

Fonte: Autor.

Após a retirada da caixa de EPS, não foi detectada nenhuma infiltração ou mancha na base do perfil de aço da interface INT-1-JV-1-E2 (Figura 86).

Figura 86 - Aspecto da base do perfil de aço da interface INT1-JV1-E2 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.



Fonte: Autor.

c) Discussão

A ABNT NBR 15.575-4:2013 estabelece como critério um percentual máximo de área de umidade em relação à área ensaiada de 5% e 10% para edificações com mais de um pavimento e edificações térreas, respectivamente. O modelo experimental desenvolvido no presente trabalho representa as duas situações previstas nessa norma.

Os resultados obtidos no ensaio de estanqueidade à água evidenciam que não ocorreu nenhuma mancha de umidade na face interna dos dois exemplares da interface INT1-JV1 (Figura 83 e Figura 85), mesmo com a aplicação de uma pressão pneumática de 400 Pa e um tempo de ensaio de oito horas, que são valores superiores aos prescritos pela ABNT NBR 15.575-4:2013.

Após a avaliação tátil visual da área ensaiada também não foi detectada nenhuma evidência de infiltração na face interna do modelo experimental (Figura 84 e Figura 86). Este resultado sugere que a pintura dos modelos experimentais com tinta acrílica impediu a água de penetrar nas eventuais fissuras existentes no revestimento de argamassa. Possivelmente, estas fissuras no revestimento de argamassa seriam pontos de infiltração de água em potencial e poderiam interferir na avaliação do desempenho das interfaces quanto à estanqueidade à água.

4.3. Interface INT2-JH1/JH3

4.3.1. Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

a) Interface INT2-JH1/JH3-E1

Na Tabela 5 são apresentados os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico realizado sobre a interface INT-2-JH1/JH3-E1 que corresponde ao primeiro exemplar de uma interface entre alvenaria e a laje de concreto (JH3), tipo *steel deck*, e entre alvenaria e viga de aço (JH1). Foram registradas temperaturas superiores a 92 °C na região da junta tratada com manta de elastômero EPDM.

Os deslocamentos relativos na junta horizontal JH2, entre laje de concreto e viga de aço, que também compõe a interface INT2, não foram monitorados, pois não ocorrem deslocamentos relativos entre as partes, já que a chapa do arremate lateral da laje é soldada sobre a mesa superior da viga de aço. Sobre essa junta não foi aplicada manta de elastômero EPDM e sim massa plástica, tela de poliéster e emulsão acrílica.

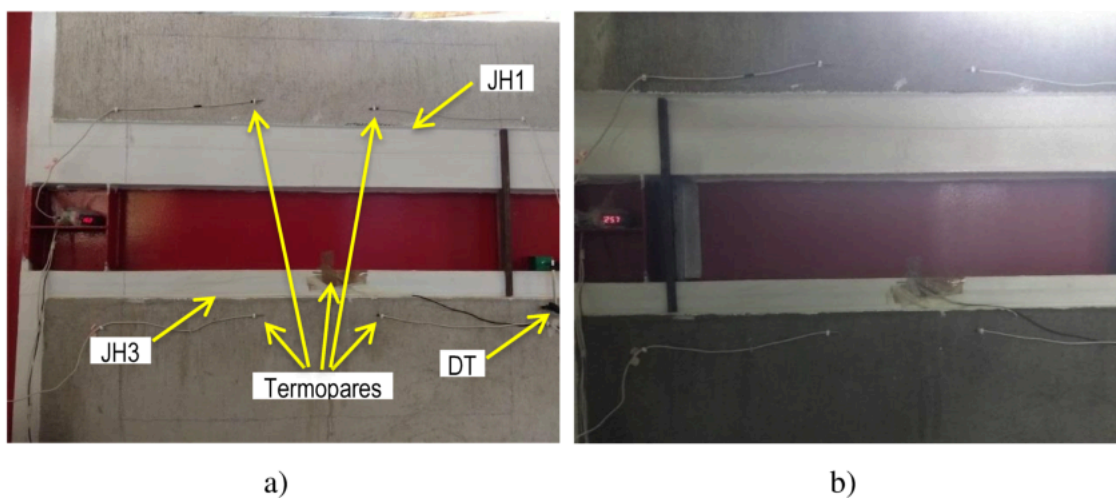
Tabela 5 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT2-JH1/JH3-E1.

Ciclo	Fase do ensaio	Temperatura nos termopares (°C)		Observações
		T _{par. média}	T _{junta}	
1	aquecimento	82,3	71,1	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	23,2	25,6	
2	aquecimento	81,8	84,2	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	24,2	25,7	
3	aquecimento	79,1	87	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	24,5	25	
4	aquecimento	78,6	87,9	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	23,3	26,2	
5	aquecimento	81,1	90	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	24,6	28,1	
6	aquecimento	78,5	91,4	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	23,0	26,8	
7	aquecimento	81,8	82,8	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	23,6	25	
8	aquecimento	79,7	91,8	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	24,0	26,5	
9	aquecimento	78,7	92,5	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	24,1	26,9	
10	aquecimento	82,3	91	Sem alterações visíveis na interface
	resfriamento	23,0	26,7	

Fonte: Autor.

O aspecto da interface INT2-JH1-E1 antes e após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico é apresentado na Figura 87.

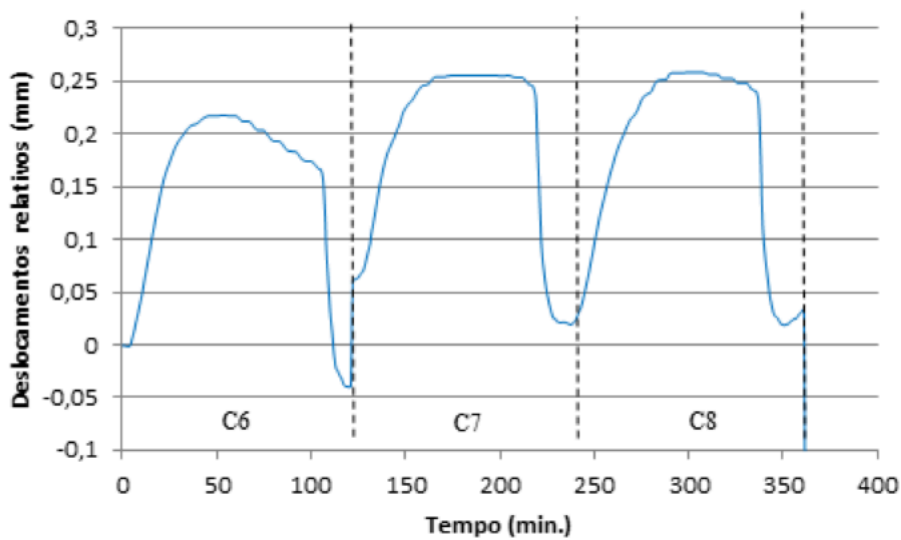
Figura 87 - Aspecto da interface INT2-JH1/JH3-E1: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: Autor.

Na Figura 88 é apresentado um gráfico com os deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço (JH3), medidos durante alguns dos ciclos do ensaio de exposição à ação de calor e choque térmico.

Figura 88 - Deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço na interface INT2-JH3-E1, durante os ciclos C6 a C8.

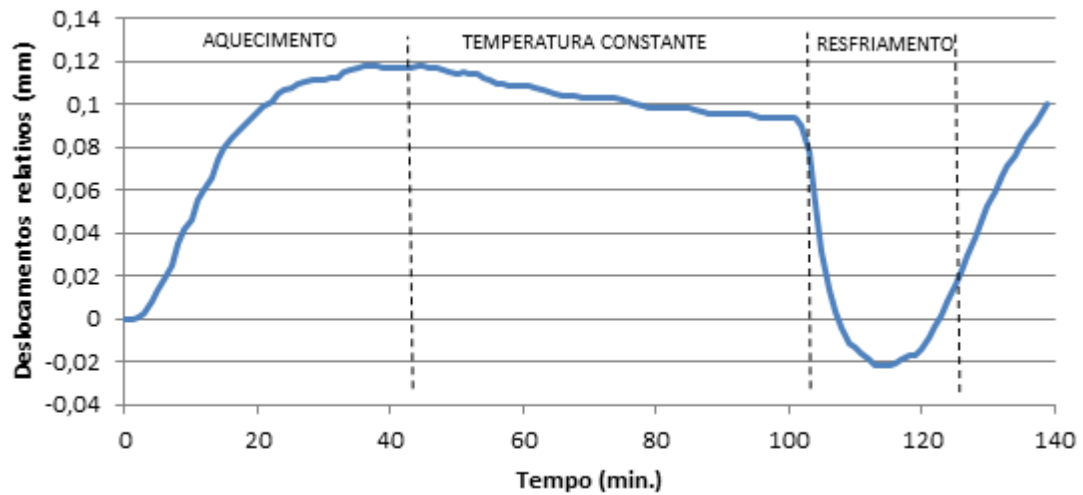


Fonte: Autor.

Na Figura 88, pode-se observar que a expansão máxima observada na interface INT2-JH3-E1 foi de 0,258 mm, enquanto que a contração máxima foi de 0,039 mm.

Na Figura 89 é apresentado um gráfico dos deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço durante o ciclo 1 do ensaio de exposição à ação do calor e resfriamento na interface INT2-JH3-E1.

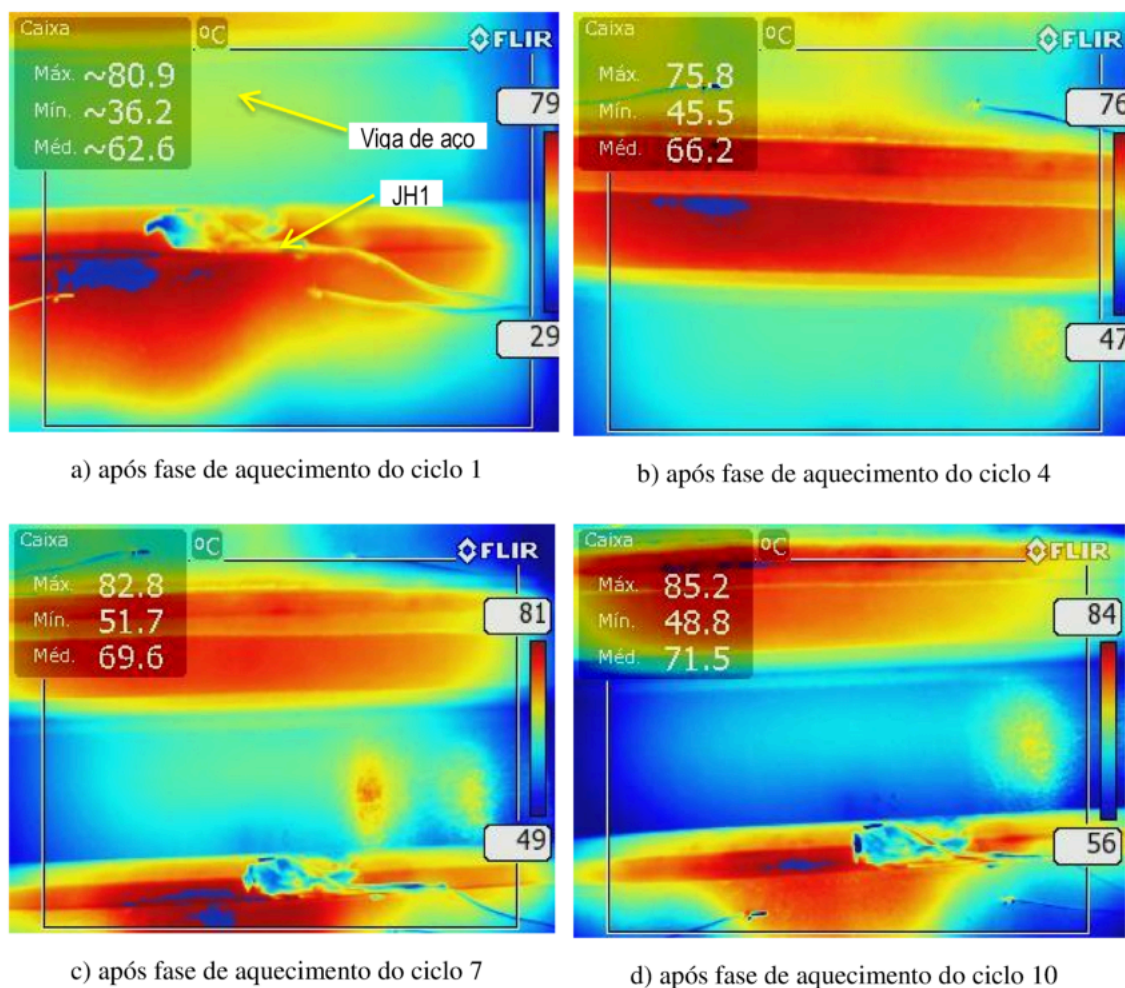
Figura 89 - Deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço medidos no ciclo 1 do ensaio, na interface INT2-JH3-E1.



Fonte: Autor.

Na Figura 90 são apresentadas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, por meio das quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face externa do modelo após a fase de aquecimento da interface INT2-JH1/JH3-E1.

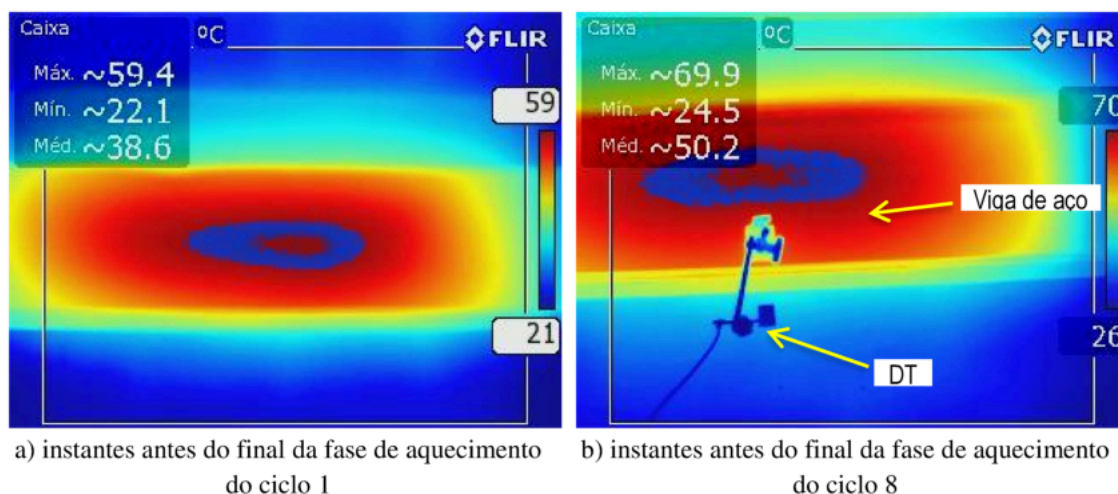
Figura 90 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT2-JH1/JH3-E1, logo após o final da fase de aquecimento.



Fonte: Autor.

Na Figura 91 são apresentas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, nas quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face interna do modelo instantes antes do final da fase de aquecimento da interface INT2-JH1 / JH3-E1.

Figura 91 – Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT2-JH1 / JH3-E1, instantes antes do final da fase de aquecimento.



Fonte: Autor.

b) Interface INT2-JH1/JH3-E2

Na Tabela 6 são apresentados os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico realizado sobre a interface INT2-JH1/JH3-E2 que corresponde ao primeiro exemplar de uma interface entre alvenaria e a laje de concreto (JH1), tipo steel deck, e entre alvenaria e viga de aço (JH3). Foram registradas temperaturas superiores a 95 °C na região da junta tratada com manta de elastômero EPDM. A junta horizontal JH2, entre laje de concreto e viga de aço, que também compõe a interface INT2, não foi monitorada pelos motivos já apresentados no item 4.3.1.a.

Tabela 6 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT2-JH1/JH3-E2.

Ciclo	Fase do ensaio	Temperatura nos termopares (°C)		Observações
		T _{par. média}	T _{junta}	
1	aquecimento	79,5	90,8	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,3	24	
2	aquecimento	83,3	91,1	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,2	25	
3	aquecimento	82,4	93,2	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,5	25,3	
4	aquecimento	81,3	92,5	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,3	24,9	
5	aquecimento	81,1	91,8	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,3	25,2	
6	aquecimento	82,9	94,3	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,5	23,3	
7	aquecimento	81,9	92,5	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	22,3	23,9	
8	aquecimento	82,6	93,2	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,0	24,6	
9	aquecimento	80,6	95	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,5	24,6	
10	aquecimento	80,4	92,4	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,4	26,7	

Fonte: Autor.

O aspecto da interface INT1-JH3-E2 antes e após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico é apresentado na Figura 92.

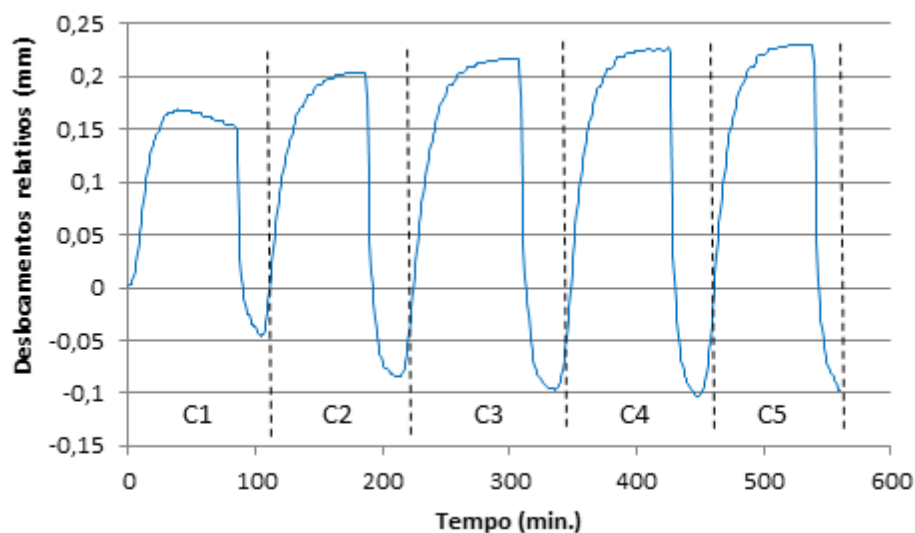
Figura 92 - Aspecto da interface INT2-JH1/JH3-E2: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: Autor.

Na Figura 93 é apresentado um gráfico com os deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço (JH3), medidos durante alguns dos ciclos do ensaio de exposição à ação de calor e choque térmico.

Figura 93 - Deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço na interface INT2-JH3-E2, durante os ciclos C1 a C5.

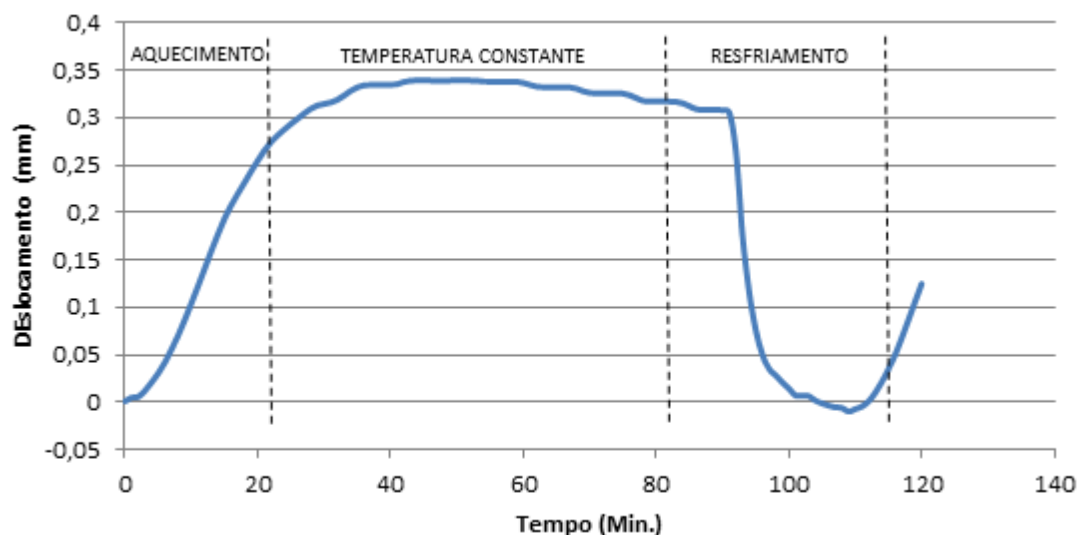


Fonte: Autor.

Na Figura 93, pode-se observar que a expansão máxima observada na interface INT2-JH3-E1 foi de 0,230 mm, enquanto que a contração máxima foi de 0,102 mm.

Na Figura 94 é apresentado um gráfico dos deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço durante o ciclo 1 do ensaio de exposição à ação do calor e resfriamento na interface INT2-JH3-E1.

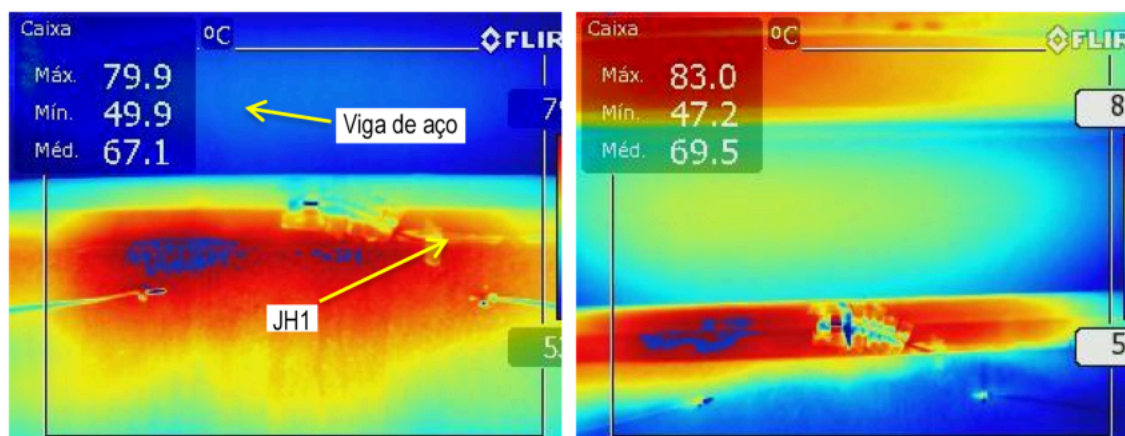
Figura 94 - Deslocamentos relativos entre alvenaria e viga de aço medidos no ciclo 1 do ensaio, na interface INT2-JH3-E2.



Fonte: Autor.

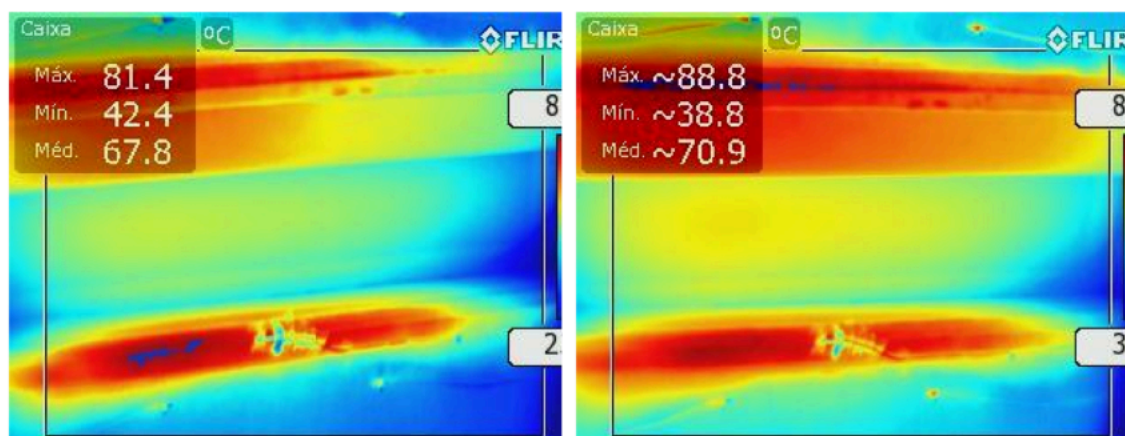
Na Figura 95 são apresentadas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, por meio das quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face externa do modelo após a fase de aquecimento da interface INT2-JH1/JH3-E2.

Figura 95 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT2-JH1 / JH3-E2, logo após o final da fase de aquecimento.



a) após fase de aquecimento do ciclo 1

b) após fase de aquecimento do ciclo 4



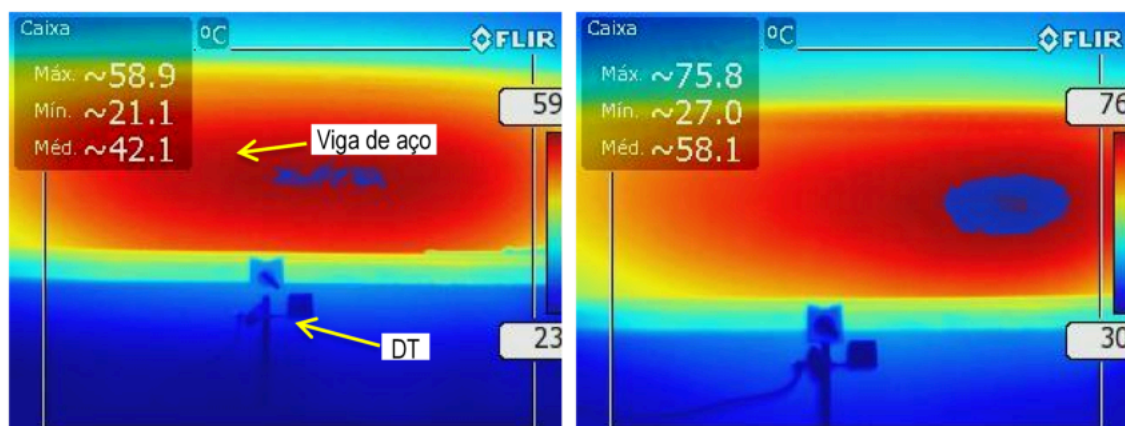
c) após fase de aquecimento do ciclo 7

d) após fase de aquecimento do ciclo 10

Fonte: Autor.

Na Figura 96 são apresentadas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, nas quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face interna do modelo instantes antes do final da fase de aquecimento da interface INT2-JH1 / JH3-E2.

Figura 96 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT2-JH1 / JH3-E2, instantes antes do final da fase de aquecimento.



a) instantes antes do final da fase de aquecimento do ciclo 1

b) instantes antes do final da fase de aquecimento do ciclo 9

Fonte: Autor.

c) Discussão

Com base nos resultados apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6 pode-se notar que durante os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico não foram observados danos na face externa da região ensaiada nos dois exemplares da interface INT2-JH1/JH3. Nas regiões das juntas horizontais JH1/JH3, que receberam o tratamento com manta de elastômero EPDM, não foi observada nenhuma alteração a olho nu.

Com base nos deslocamentos relativos mostrados na Figura 88 e na Figura 93, pode-se notar que dentro de cada ciclo a magnitude de expansão foi semelhante à magnitude de contração. Após a realização do primeiro ciclo, a parede acumulou uma pequena retração residual.

De acordo com a Figura 89 e a Figura 94, houve uma expansão da parede durante a fase de aquecimento e em parte da fase de temperatura constante. A partir de um determinado momento, ainda na fase de temperatura constante, iniciou-se a contração da parede. Este comportamento foi mais discreto que o observado na interface INT1, o que pode ser atribuído a uma menor perda de água durante a fase aquecida da interface INT2. A região ensaiada da interface INT2 apresenta uma área de parede menor se comparada à região ensaiada da interface INT1.

Os deslocamentos relativos observados na junta horizontal JH1 (Figura 88 e Figura 93) evidenciam que a interface entre alvenaria e mesa inferior da viga de aço permitiu efetivamente a movimentação relativa entre as partes, caracterizando o comportamento de uma interface desvinculada. Ficou também evidenciado que a interface desvinculada foi capaz de suportar movimentações diferenciais de forma satisfatória, sem introduzir danos à junta ou à alvenaria.

Na face externa dos modelos, as maiores temperaturas ocorreram próximo às juntas horizontais (JH1 e JH3) (Figura 90 e Figura 95). Conforme observado durante os ensaios, em alguns momentos da fase de aquecimento o termopar situado sobre a junta registrou temperaturas superiores a 97° C (Tabela 5 e Tabela 6). Nas imagens termográficas da face externa do modelo experimental (Figura 90 e Figura 95), realizadas logo após o final da fase de aquecimento, pode-se notar que a temperatura na alma da viga de aço sempre foi menor do que na alvenaria, visto que o aço se resfria mais rapidamente. Além disso, a falta de uniformidade na distribuição de temperaturas (Figura 90 e Figura 95) se deve à rápida variação da temperatura na face externa do modelo logo após o afastamento do painel radiante.

As temperaturas observadas na face interna do modelo experimental (Figura 91 e Figura 96) foram muito inferiores às registradas na parede da face externa (Figura 90 e Figura 95), sendo próximas à temperatura ambiente. A alma da viga de aço na face interna do modelo experimental apresentou temperaturas mais próximas de 70 °C.

4.3.2. Ensaio de Estanqueidade à Água

a) Interface INT2-JH1/JH3-E1

Durante a realização do ensaio de estanqueidade à água sobre a interface INT2-JH1 / JH3-E1, que corresponde ao primeiro exemplar de uma interface entre alvenaria e a laje de concreto (JH1), tipo steel deck, e entre alvenaria e viga de aço (JH3), não foi registrada nenhuma mancha de umidade, nem mesmo na base do pilar da região ensaiada. Na Figura 97 mostra-se a face interna do modelo no início e no final do ensaio de estanqueidade à água.

Figura 97 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT2-JH1/JH3-E1, durante o ensaio de estanqueidade à água.



a) Início do Ensaio

b) Final do Ensaio (após 8 horas)

Fonte: Autor.

Após a retirada da caixa de EPS, não foi detectada nenhuma infiltração ou nenhuma infiltração ou mancha na região da interface INT2-JH1/JH3-E1 nesse local (Figura 98).

Figura 98 – Aspecto da região da interface INT2-JH1/JH3-E1 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.



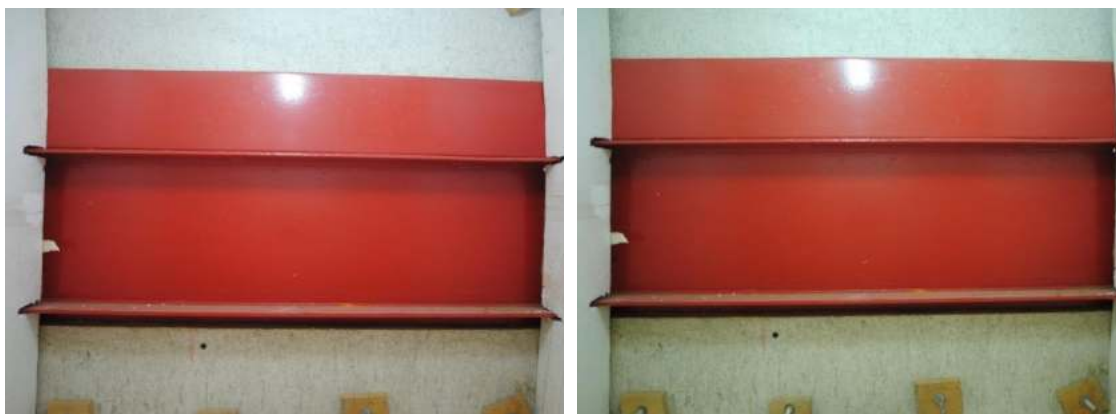
Fonte: Autor.

b) Interface INT2-JH1/JH3-E2

Durante a realização do ensaio de estanqueidade à água sobre a interface INT2-JH1/JH3-E2, que corresponde ao segundo exemplar de uma interface entre alvenaria e a laje de concreto (JH1), tipo *steel deck*, e entre alvenaria e viga de aço (JH3), não foi registrada nenhuma mancha de umidade, nem mesmo na base do pilar da região

ensaiada. Na Figura 99 mostra-se a face interna do modelo no início e no final do ensaio de estanqueidade à água.

Figura 99 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT2-JH1/JH3-E2, durante o ensaio de estanqueidade à água.



a) Início do Ensaio

b) Final do Ensaio (após 8 horas)

Fonte: Autor.

Após a retirada da caixa de EPS, não foi detectada nenhuma infiltração ou nenhuma infiltração ou mancha na região da interface INT2-JH1/JH3-E2 nesse local (Figura 100).

Figura 100 – Aspecto da região da interface INT2-JH1/JH3-E após a realização do ensaio de estanqueidade à água.



Fonte: Autor.

c) Discussão

Os resultados obtidos no ensaio de estanqueidade à água realizados na interface INT2-JH1/JH3 evidenciam que não ocorreu nenhuma mancha de umidade na face interna

dos dois exemplares (Figura 97 e Figura 99), mesmo com a aplicação de uma pressão pneumática de 400 Pa e um tempo de ensaio de oito horas.

Após a avaliação tátil visual da área ensaiada também não foi detectada nenhuma evidência de infiltração na face interna do modelo experimental (Figura 98 e Figura 100). Este resultado sugere que a pintura dos modelos experimentais com tinta acrílica impediu a água de penetrar nas eventuais fissuras existentes no revestimento de argamassa.

4.4. Interface INT3-JV-1

4.4.1. Ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico

a) Interface INT3-JV1-E1

Na Tabela 7 são apresentados os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico realizado sobre a interface INT3-JV1-E1 que corresponde ao primeiro exemplar de uma interface entre alvenaria e mesa de um pilar de aço. Foram registradas temperaturas superiores a 99 °C na região da junta tratada com manta de elastômero EPDM.

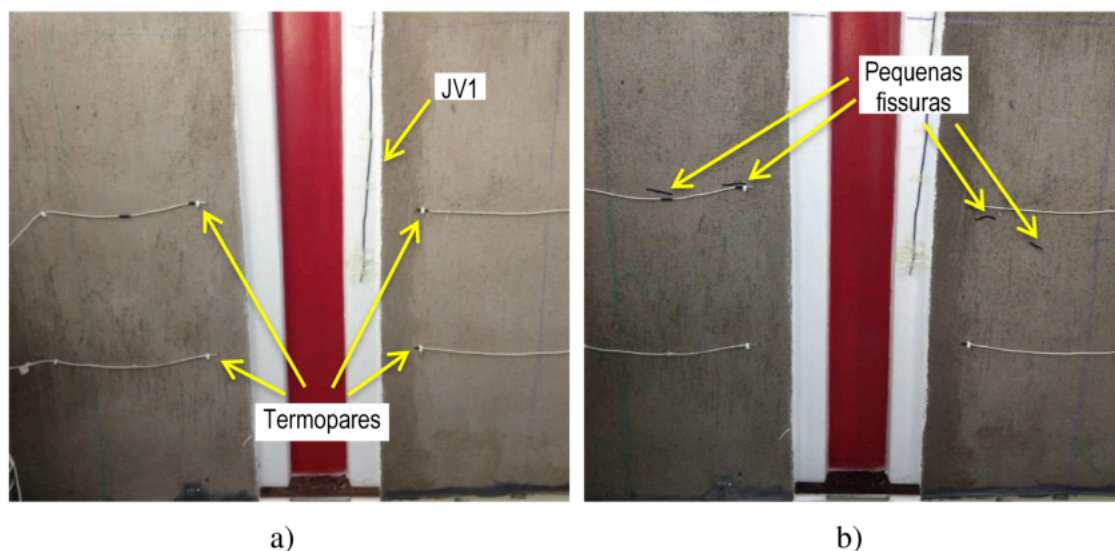
Tabela 7 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT3-JV1-E1.

Ciclo	Fase do ensaio	Temperatura nos termopares (°C)		Observações
		T _{par. média}	T _{junta}	
1	aquecimento	79,4	84,4	Já existia uma fissura na argamassa de revestimento.
	resfriamento	23,2	21,8	
2	aquecimento	81,7	93,4	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,6	24,1	
3	aquecimento	79,9	98,8	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,3	25	
4	aquecimento	80,1	94,6	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,7	23,9	
5	aquecimento	80,9	98,2	Surgimento da fissura 1.
	resfriamento	21,9	22,1	
6	aquecimento	80,2	92,9	Surgimento da fissura 2 e 3.
	resfriamento	24,3	23,5	
7	aquecimento	81,4	95,4	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	24,0	22,8	
8	aquecimento	82,1	99	Surgimento da fissura 4.
	resfriamento	23,8	23,7	
9	aquecimento	79,3	96,9	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,5	23	
10	aquecimento	80,8	99,8	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	23,7	23,8	

Fonte: Autor.

O aspecto da interface INT3-JV1-E1 antes e após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico é apresentado na Figura 101.

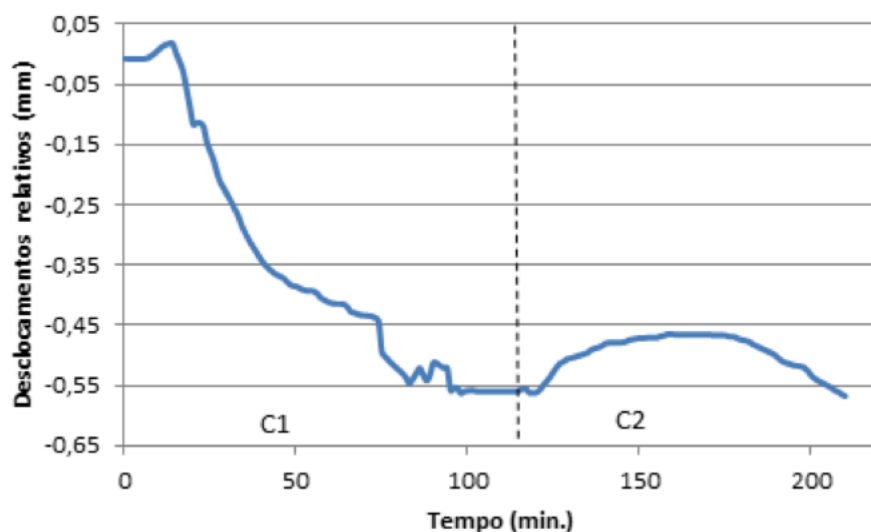
Figura 101 - Aspecto da interface INT3-JV1-E1: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: Autor

Na Figura 102 é apresentado um gráfico com os deslocamentos horizontais relativos entre alvenaria e pilar de aço, medidos durante os ciclos C1 e C2 do ensaio de exposição à ação de calor e choque térmico. Os deslocamentos relativos horizontais dos demais ciclos do ensaio de exposição ao calor e choque térmico, referentes ao exemplar E1 foram perdidos devido a uma movimentação indevida do transdutor.

Figura 102 – Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço na interface INT3-JV1-E1, durante os ciclos C1 a C2.

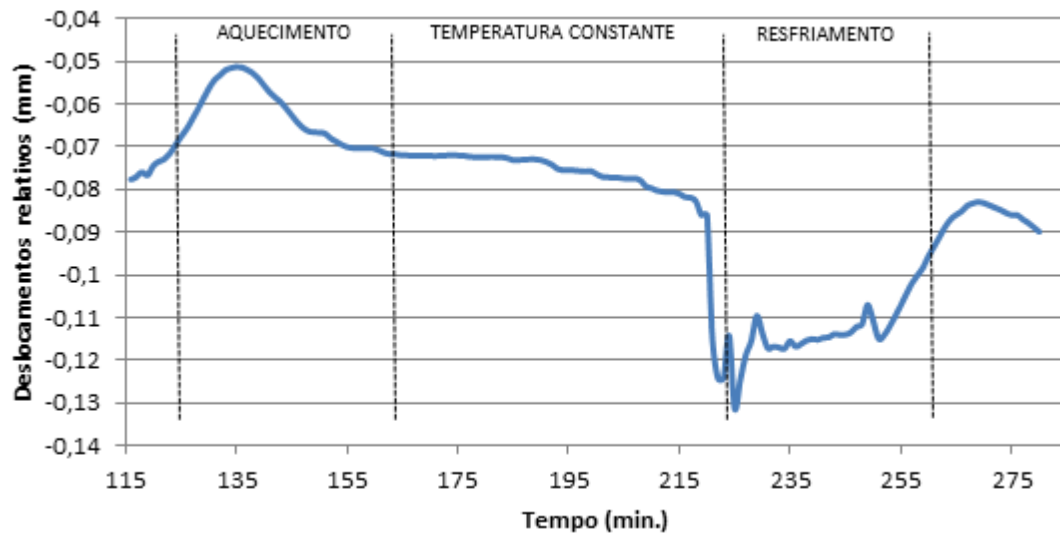


Fonte: Autor.

Na Figura 102 pode-se observar que a expansão máxima observada na interface INT3-JV1-E1 foi de 0,017 mm, enquanto que a contração máxima foi de 0,567 mm.

Na Figura 103 é apresentado um gráfico dos deslocamentos relativos entre alvenaria e pilar de aço durante o ciclo 7 do ensaio de exposição à ação do calor e resfriamento na interface INT3-JV1-E1.

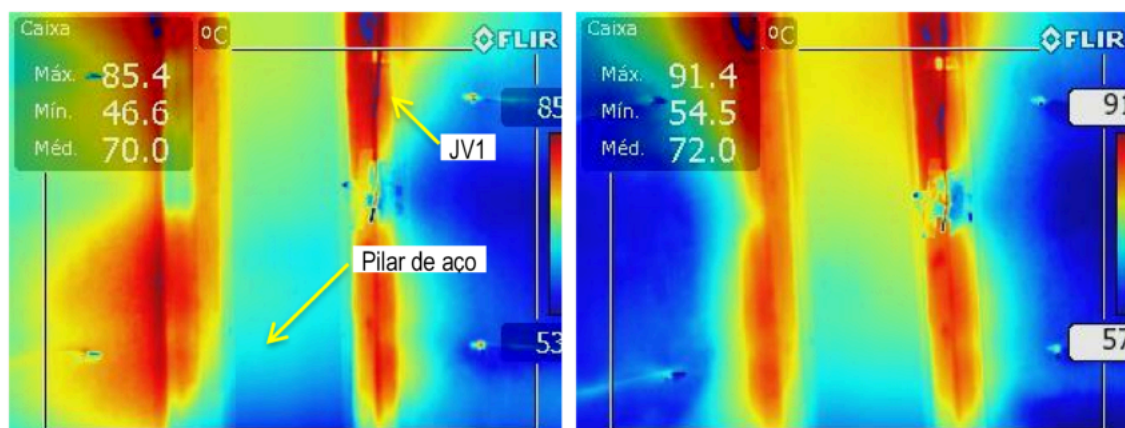
Figura 103 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço medidos no ciclo 7 do ensaio, na interface INT3-JV1-E1.



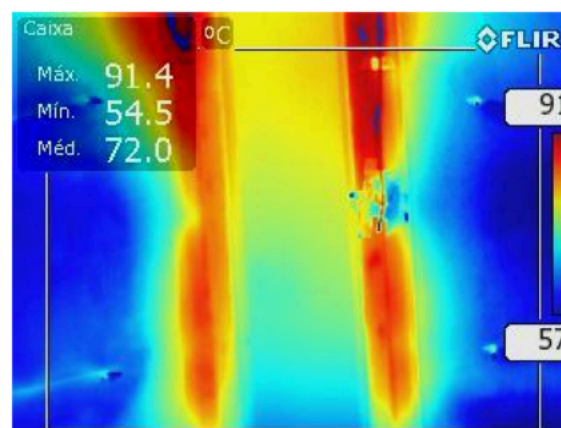
Fonte: Autor.

Na Figura 104 são apresentadas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, por meio das quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face externa do modelo após a fase de aquecimento da interface INT3-JV1-E1.

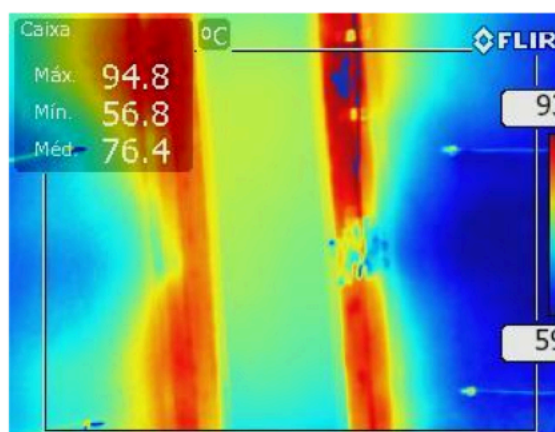
Figura 104 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E1, logo após o final da fase de aquecimento.



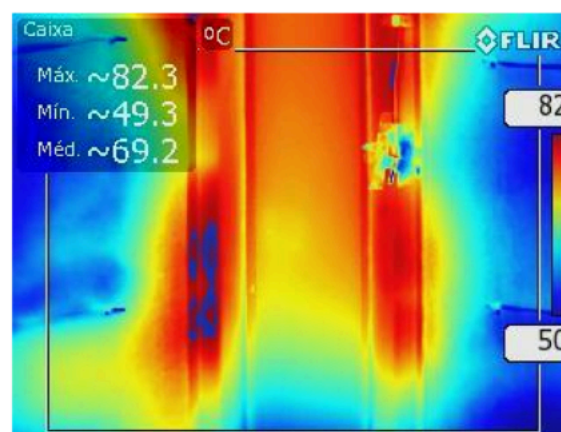
a) após fase de aquecimento do ciclo 1



b) após fase de aquecimento do ciclo 5



c) após fase de aquecimento do ciclo 7

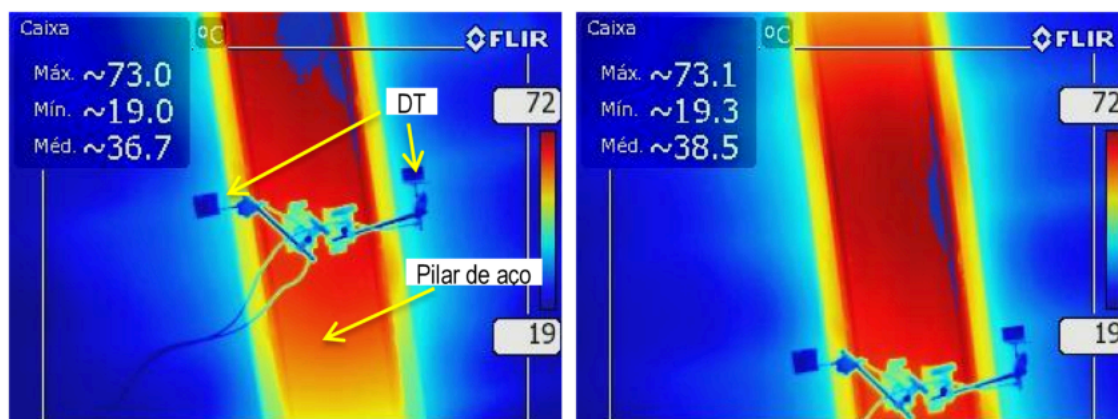


d) após fase de aquecimento do ciclo 10

Fonte: Autor.

Na Figura 105 são apresentas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, nas quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face interna do modelo instantes antes do final da fase de aquecimento da interface INT3-JV1-E1.

Figura 105 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E1, instantes antes do final da fase de aquecimento.



a) instantes antes do final da fase de aquecimento do ciclo 1

b) instantes antes do final da fase de aquecimento do ciclo 10

Fonte: Autor.

b) Interface INT3-JV1-E2

Na Tabela 8 são apresentados os resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico realizado sobre a interface INT3-JV1-E2 que corresponde ao segundo exemplar de uma interface entre alvenaria e mesa de um pilar de aço. Foram registradas temperaturas superiores a 97 °C na região da junta tratada com manta de elastômero EPDM.

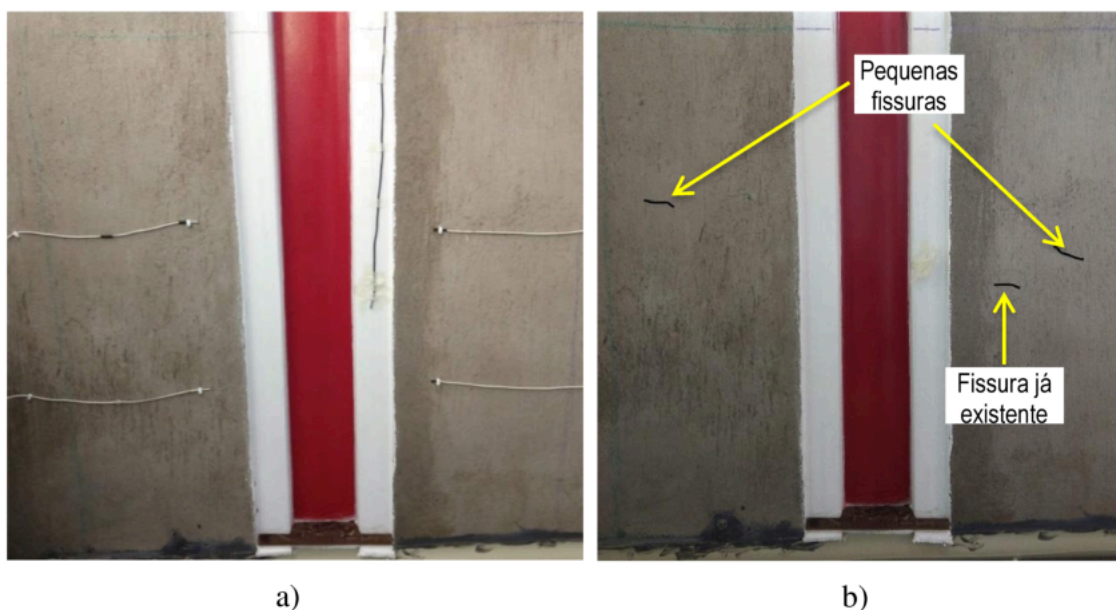
Tabela 8 - Resultados do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico sobre a interface INT3-JV1-E2.

Ciclo	Fase do ensaio	Temperatura nos termopares (°C)		Observações
		T _{par. média}	T _{junta}	
1	aquecimento	81,1	87,3	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,4	19,5	
2	aquecimento	82,5	95,3	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,9	19,4	
3	aquecimento	79,8	96,4	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,0	19,1	
4	aquecimento	263,8	95	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,0	18,7	
5	aquecimento	79,1	90,8	Sem alterações visíveis na interface.
	resfriamento	70,6	19,3	
6	aquecimento	78,4	96,6	Surgimento das fissuras 1 e 2.
	resfriamento	21,1	18,5	
7	aquecimento	81,6	96,7	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,1	19,6	
8	aquecimento	80,2	95,6	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,1	19,4	
9	aquecimento	82,2	97	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,6	19,8	
10	aquecimento	79,9	97,5	Sem mais alterações visíveis na interface.
	resfriamento	21,3	20,3	

Fonte: Autor.

O aspecto da interface INT3-JV1-E2 antes e após o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico é apresentado na Figura 106.

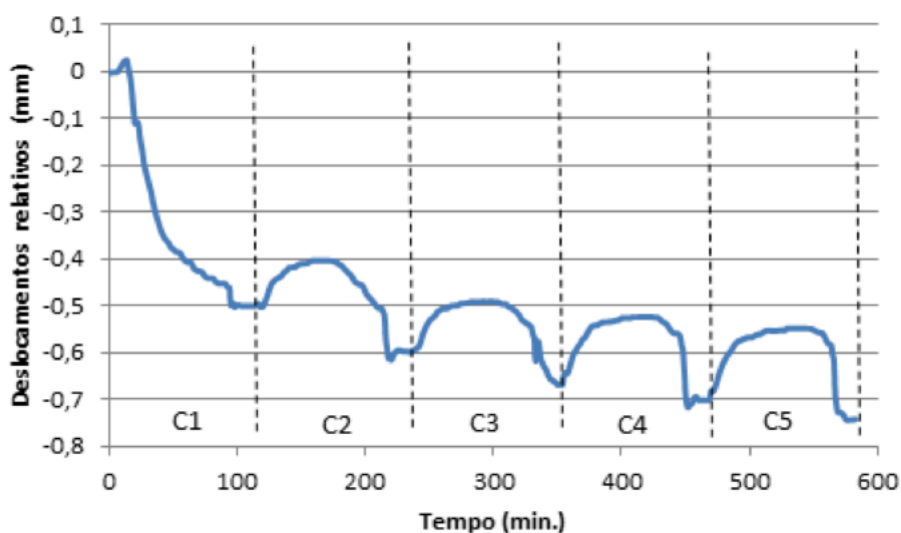
Figura 106 - Aspecto da interface INT2-JH1/JH3-E2: a) antes do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico; b) após a execução do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico.



Fonte: Autor.

Na Figura 107 é apresentado um gráfico com os deslocamentos relativos entre alvenaria e pilar de aço, medidos durante alguns dos ciclos do ensaio de exposição à ação de calor e choque térmico.

Figura 107 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço na interface INT3-JV1-E2, durante os ciclos C1 a C5.

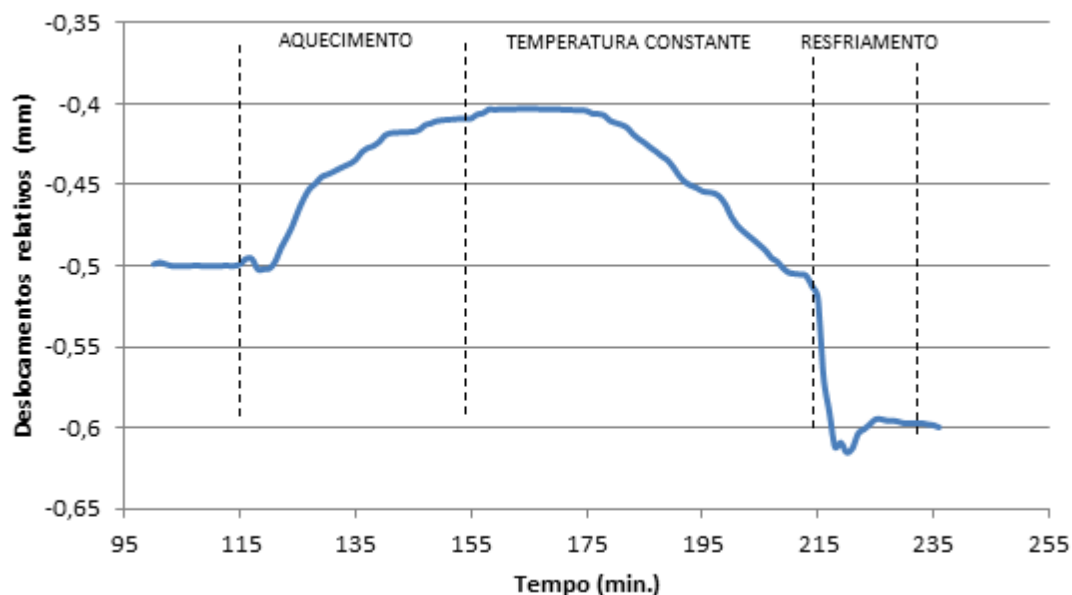


Fonte: Autor.

Na Figura 107 pode-se observar que a expansão máxima observada na interface INT3-JV1-E2 foi de 0,024 mm, enquanto que a contração máxima foi de 0,743 mm.

Na Figura 108 é apresentado um gráfico dos deslocamentos relativos entre alvenaria e pilar de aço durante o ciclo 2 do ensaio de exposição à ação do calor e resfriamento na interface INT3-JV1-E2.

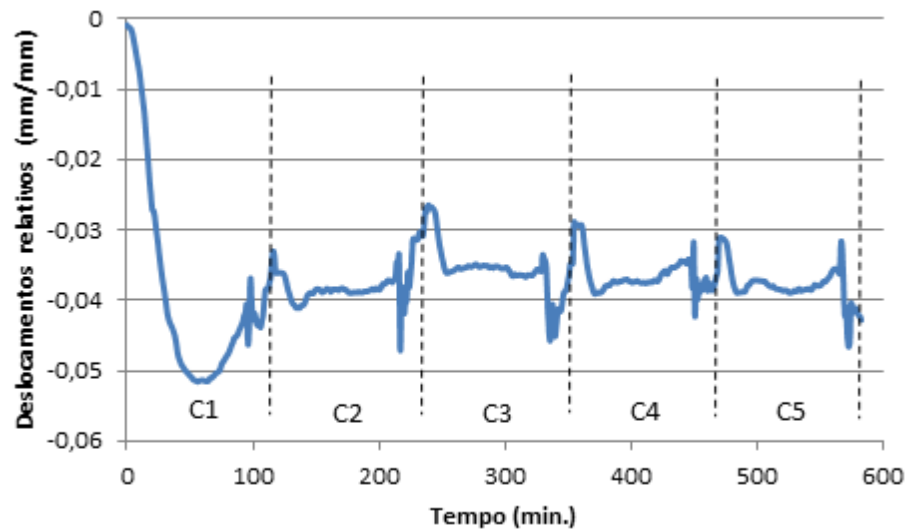
Figura 108 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e pilar de aço medidos no ciclo 2 do ensaio, na interface INT3-JV1-E2.



Fonte: Autor.

Na Figura 109 é apresentado um gráfico com os deslocamentos verticais relativos entre alvenaria e pilar de aço, medidos durante alguns dos ciclos do ensaio de exposição à ação de calor e choque térmico na INT3-JV1-E2.

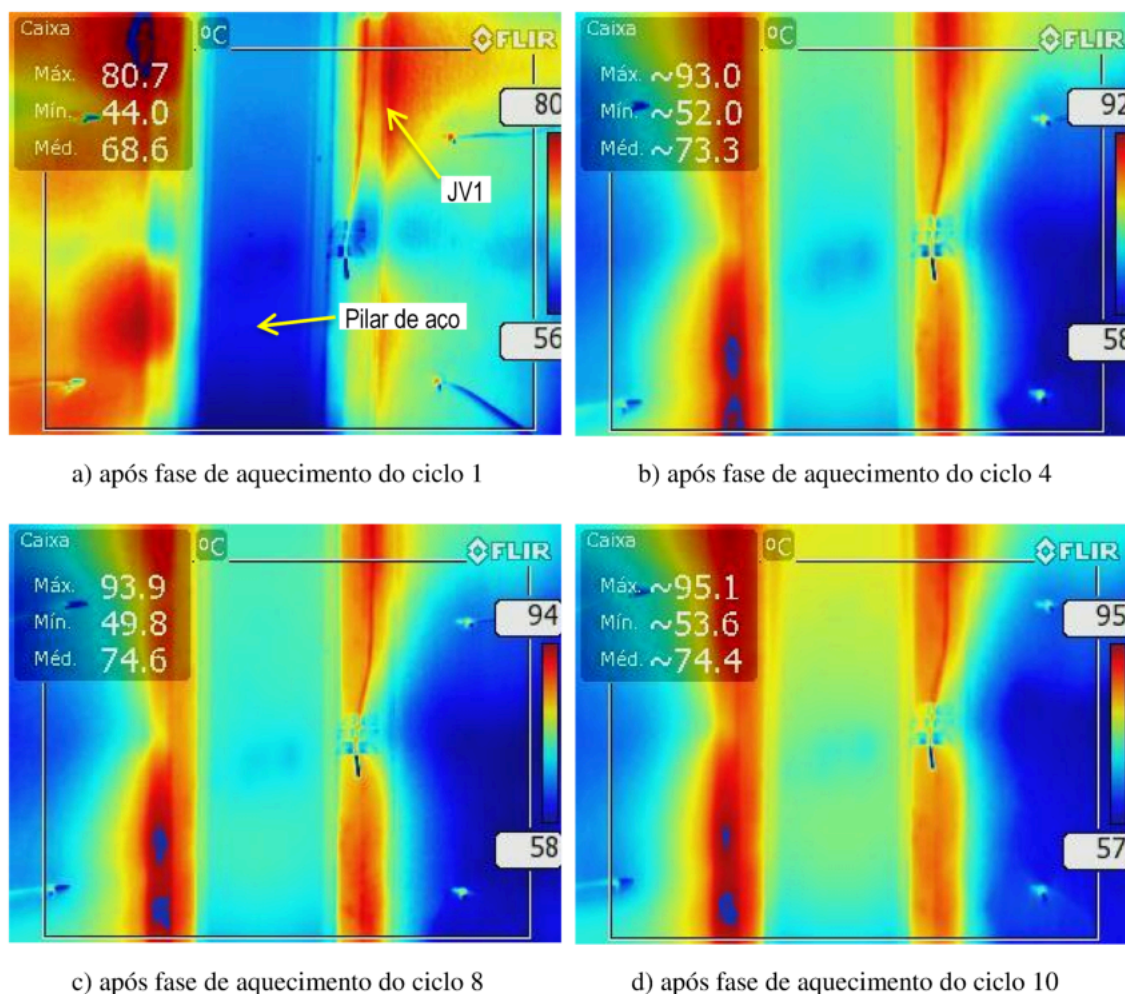
Figura 109 - Deslocamentos verticais relativos entre alvenaria e pilar de aço na interface INT3-JV1-E2, durante os ciclos C1 a C5.



Fonte: Autor.

Na Figura 110 são apresentas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, por meio das quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face externa do modelo após a fase de aquecimento da interface INT3-JV1-E2.

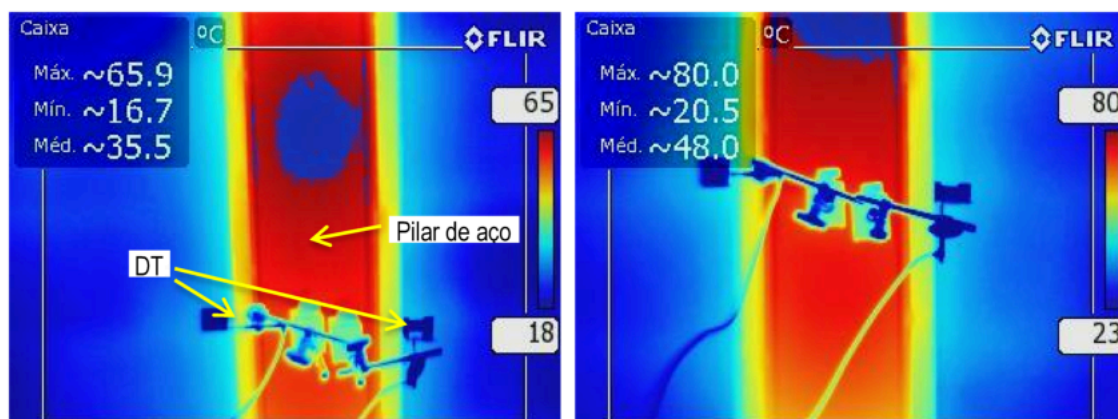
Figura 110 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face externa do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E2, logo após o final da fase de aquecimento.



Fonte: Autor.

Na Figura 111 são apresentas as imagens obtidas com auxílio da câmera térmica, nas quais pode-se observar a distribuição da temperatura na face interna do modelo instantes antes do final da fase de aquecimento da interface INT3-JV1-E2.

Figura 111 - Distribuição de temperaturas no ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico na face interna do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E2, instantes antes do final da fase de aquecimento.



a) instantes antes do final da fase de aquecimento do ciclo 1

b) instantes antes do final da fase de aquecimento do ciclo 10

Fonte: Autor.

c) Discussão

Com base nos resultados apresentados na Tabela 7 e na Tabela 8 pode-se notar que durante os ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico foram observadas apenas pequenas fissuras na face externa da região ensaiada nos dois exemplares da interface INT3-JV1. Os danos identificados foram pequenas fissuras horizontais próximas aos locais onde foram fixados os termopares. Na região da junta vertical JV1, que recebeu o tratamento com manta de elastômero EPDM, não foi observada nenhuma alteração a olho nu.

Com base nos deslocamentos relativos mostrados na Figura 102 e na Figura 107 pode-se notar que no primeiro ciclo do ensaio houve uma pequena expansão da parede na fase de aquecimento e estabilização da temperatura, seguido de uma contração de maior magnitude.

Após o primeiro ciclo do ensaio, a parede acumulou uma retração residual que aumentou até o fim do último ciclo. Além disso, pode-se observar também que a magnitude de expansão foi ligeiramente menor que a magnitude de contração (Figura 102 e Figura 107).

De forma semelhante ao ocorrido nos outros dois casos de interface avaliados anteriormente, durante a fase de aquecimento e em parte da fase de temperatura constante,

houve uma expansão da parede e, a partir de um determinado momento, ainda na fase de temperatura constante, iniciou-se uma contração (Figura 103 e Figura 108).

Os deslocamentos relativos observados na junta vertical JV1 (Figura 102 e Figura 107) evidenciam que a interface entre alvenaria e mesa do pilar de aço permitiu efetivamente a movimentação relativa entre as partes, caracterizando o comportamento de uma interface desvinculada. Ficou também evidenciado que a interface desvinculada foi capaz de suportar movimentações diferenciais de forma satisfatória, sem introduzir danos à junta e à alvenaria.

Os únicos deslocamentos verticais relativos medidos entre alvenaria e pilar de aço obtidos na interface INT3-JV1 foram apresentados na Figura 109, que se refere ao exemplar E2. Os deslocamentos referentes ao exemplar E1 foram perdidos devido a uma movimentação indevida do transdutor durante o ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Com base nos resultados apresentados na Figura 109, pode-se observar que a magnitude dos deslocamentos relativos verticais foi menor que os deslocamentos relativos horizontais e se estabilizou a partir do segundo ciclo. Isso evidencia que o pilar de aço conectado na junta vertical JV1 sofreu uma expansão, mas de pequena magnitude.

Na face externa dos modelos, as maiores temperaturas ocorreram próximo à junta vertical (JV1) (Figura 104 e Figura 110). Conforme observado durante os ensaios, em alguns momentos da fase de aquecimento o termopar situado sobre a junta registrou temperaturas superiores a 97°C (Tabela 7 e Tabela 8). Nas imagens termográficas da face externa do modelo experimental (Figura 104 e Figura 110), realizadas logo após o final da fase de aquecimento, pode-se notar que a temperatura no perfil de aço sempre foi menor do que na alvenaria, visto que o aço se resfria mais rapidamente. Além disso, a falta de uniformidade na distribuição de temperaturas (Figura 104 e Figura 110) se deve à rápida variação da temperatura na face externa do modelo logo após o afastamento do painel radiante.

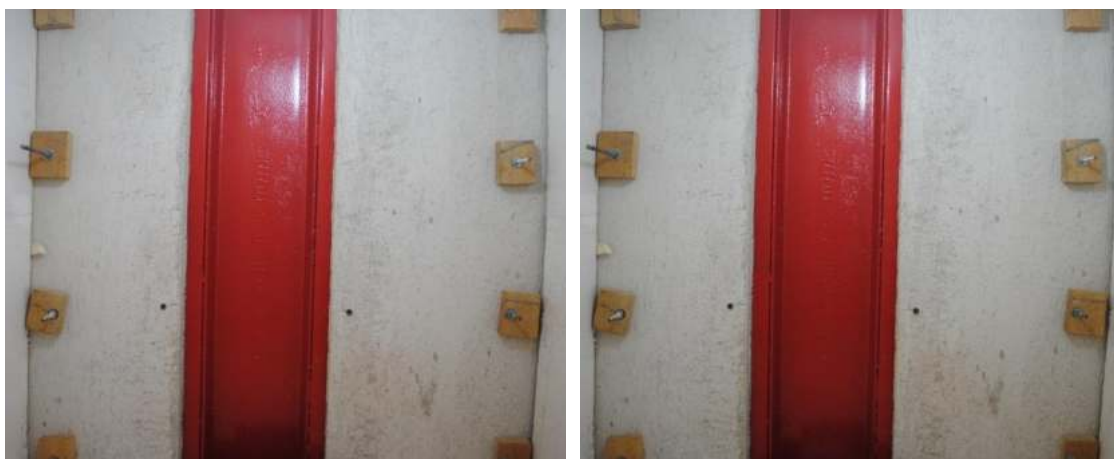
De acordo com a Figura 105 e a Figura 111, as temperaturas observadas na parede da face interna do modelo experimental foram muito inferiores às registradas na parede da face externa (Figura 104 e Figura 110), sendo próximas à temperatura ambiente. O Pilar de aço na face interna apresentou temperaturas mais próximas a de 80°C .

4.4.2. Ensaio de estanqueidade à água

a) Interface INT3-JV1-E1

Durante a realização do ensaio de estanqueidade à água sobre a interface INT3-JV1-E1, que corresponde ao primeiro exemplar de uma interface entre alvenaria e mesa de um pilar de aço, não foi registrada nenhuma mancha de umidade, nem mesmo na base do pilar da região ensaiada. Na Figura 112 mostra-se a face interna do modelo no início e no final do ensaio de estanqueidade à água.

Figura 112 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E1, durante o ensaio de estanqueidade à água.



a) Início do Ensaio

b) Final do Ensaio (após 8 horas)

Fonte: Autor.

Após a retirada da caixa de EPS posicionada sobre a face interna da parede, a base do perfil foi inspecionada a fim de verificar possíveis infiltrações ou manchas de umidade. Não foi detectada nenhuma infiltração ou mancha nesse local (Figura 113).

Figura 113 – Aspecto da base do perfil de aço da interface INT3-JV1-E1 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.



Fonte: Autor.

b) Interface INT3-JV1-E2

Durante a realização do ensaio de estanqueidade à água sobre a interface INT3-JV1-E2, que corresponde ao segundo exemplar de uma interface entre alvenaria e mesa de um pilar de aço, não foi registrada nenhuma mancha de umidade, nem mesmo na base do pilar da região ensaiada. Na Figura 114 mostra-se a face interna do modelo no início e no final do ensaio de estanqueidade à água.

Figura 114 - Aspecto da face interna do modelo experimental, na interface INT3-JV1-E2, durante o ensaio de estanqueidade à água.



Fonte: Autor.

Após a retirada da caixa de EPS posicionada sobre a face interna da parede, a base do perfil foi inspecionada a fim de verificar possíveis infiltrações ou manchas de umidade. Não foi detectada nenhuma infiltração ou mancha nesse local (Figura 115).

Figura 115 - Aspecto da base do perfil de aço da interface INT3-JV1-E2 após a realização do ensaio de estanqueidade à água.



Fonte: Autor.

c) Discussão

Os resultados obtidos no ensaio de estanqueidade à água evidenciam que não ocorreu nenhuma mancha de umidade na face interna dos dois exemplares da interface INT3-JV1 (Figura 112 e Figura 114), mesmo com a aplicação de uma pressão pneumática de 400 Pa e um tempo de ensaio de oito horas.

Após a avaliação tátil visual da área ensaiada também não foi detectada nenhuma evidência de infiltração na face interna do modelo experimental (Figura 113 e Figura 115). Este resultado sugere que a pintura dos modelos experimentais com tinta acrílica impediu a água de penetrar nas eventuais fissuras existentes no revestimento de argamassa.

4.5. Avaliação geral do comportamento das interfaces quanto aos deslocamentos relativos

Na Tabela 9 apresentam-se os resultados dos deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e perfil de aço máximos ($s_{máx.}$), de expansão (s_{exp}), de contração (s_{cont}) e após estabilização ($s_{est.med}$) do comportamento quanto aos deslocamentos, para cada caso de interface submetida ao ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico. Para o exemplar E1 da interface INT3 não foi possível medir o deslocamento após a estabilização pelos motivos apresentados no item 4.4.1.a.

Tabela 9 - Deslocamentos relativos horizontais entre alvenaria e perfil de aço máximos, de expansão, de contração e após estabilização do comportamento quanto aos deslocamentos, medidos em cada caso de interface.

Caso de interface	$s_{máx}$ (mm)	s_{exp} (mm)	s_{cont} (mm)	$s_{est.med}$ (mm)
INT1-E1	0,062	0,015	0,062	0,032
INT1-E2	0,029	0,014	0,029	0,019
INT2-E1	0,258	0,258	0,030	0,235
INT2-E2	0,340	0,230	0,102	0,340
INT3-E1	0,567	0,017	0,567	-
INT3-E2	0,743	0,024	0,743	0,160

Fonte: Autor.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 9, pode-se observar que mesmo entre exemplares de um mesmo caso de interface ocorreu uma variação importante nos valores de deslocamentos relativos entre alvenaria e perfil de aço.

Os deslocamentos relativos horizontais máximos entre alvenaria e perfil de aço, medidos em cada caso de interface evidenciam que a interface INT1 apresentou deslocamentos relativos máximos de menor magnitude que nos outros dois casos. Nesta interface os deslocamentos relativos horizontais de contração foram cerca de quatro vezes o valor da expansão.

Na interface INT2 os deslocamentos relativos horizontais de maior magnitude corresponderam à expansão da parede. Nota-se que os deslocamentos relativos estabilizados são muito próximos aos valores de deslocamentos máximos medidos na expansão. Isto indica que, mesmo após a aplicação de vários ciclos de exposição à ação do calor e choque térmico, os deslocamentos relativos medidos na interface INT2 sempre mantiveram um comportamento semelhante.

A interface INT3 foi a que apresentou os maiores deslocamentos relativos absolutos entre os três casos avaliados, que correspondem à contração da parede. Os deslocamentos relativos horizontais de expansão da parede na interface INT3 foram cerca de 3% dos de contração, o que provocou uma retração residual nesta interface.

Os valores dos deslocamentos relativos horizontais observados nos três casos de interface, seja de maior ou menor valor absoluto, evidenciam que a desvinculação nas juntas das interfaces entre SVVE e estrutura de aço foi efetiva. Caso não fosse realizado um tratamento adequado destas juntas nas interfaces, com o uso de um material capaz de suportar essa magnitude de movimento, poderiam ocorrer fissuras que abririam caminho para entrada de água através da parede.

5.1. Considerações finais

O presente trabalho foi desenvolvido com objetivo principal de avaliar o desempenho quanto à estanqueidade e durabilidade de interfaces típicas entre alvenaria e estrutura de aço utilizadas em SVVE, tratadas com manta de elastômero EPDM e sujeitas a envelhecimento acelerado.

Foi desenvolvido um modelo experimental de parede com juntas horizontais e verticais típicas de SVVE em alvenaria de blocos cerâmicos para estruturas de aço. O sistema utilizado em todas as interfaces do modelo experimental foi o de panos contínuos, inserida no plano da estrutura e com alvenaria desvinculada.

Com base nos resultados obtidos para os três casos de interface nos ensaios de exposição à ação do calor e choque térmico, não foi observado, a olho nu, nenhum tipo de deterioração na região das juntas tratadas com manta de elastômero EPDM. A manta de elastômero EPDM se manteve íntegra, sem nenhum tipo de alteração superficial ou descolamento. Os pequenos danos observados na face externa das regiões ensaiadas foram apenas pequenas fissuras horizontais na superfície do revestimento da parede.

Aplicando-se os mesmos critérios prescritos pela ABNT NBR 15.575-4:2013 para classificação de SVVE quanto ao desempenho à durabilidade, pode-se classificar as interfaces entre alvenaria e estrutura de aço avaliadas como de desempenho mínimo (M).

Os deslocamentos relativos medidos entre alvenaria e perfil de aço, causados pela exposição do modelo experimental aos ciclos de ação do calor e choque térmico, indicam que a desvinculação das juntas permitiu a movimentação da alvenaria, sem causar danos aparentes nas interfaces tratadas com manta de elastômero EPDM. A ABNT NBR 15.575-4:2013 estabelece como critério de avaliação de desempenho quanto à durabilidade a não ocorrência de fissuras e a limitação do deslocamento perpendicular ao

plano do modelo experimental. Esta norma não faz referência aos deslocamentos no plano do modelo experimental.

Os deslocamentos medidos no plano do modelo experimental, avaliados no presente trabalho, evidenciam que nas juntas das interfaces ocorreram movimentações significativas em alguns dos casos avaliados. Mesmo que não causem danos à parede, estes deslocamentos podem gerar fissuras na interface entre SVVE e estrutura. É de grande importância que estes critérios sejam considerados para uma avaliação mais realista de um SVVE. Caso não seja feito um tratamento adequado das juntas nas interfaces entre SVVE e estrutura, esta região das juntas pode se tornar um caminho para a entrada de água nas edificações, que é a principal causa das manifestações patológicas identificadas.

Com o registro das temperaturas realizadas por meio dos termopares instalados na face externa do modelo experimental e no perfil de aço, pode-se verificar a diferença de temperatura entre alvenaria e aço na região das juntas. Mesmo com a ocorrência de temperaturas muito superiores ao limite estabelecido pela ABNT NBR 15.575-4:2013 no perfil de aço situado na região das juntas das interfaces tratadas com manta EPDM, não foram identificados danos visíveis às juntas.

Para os três casos de interface estudados, após ensaio de estanqueidade não foram detectadas manchas de umidade na face interna dos modelos. Isto evidencia o bom desempenho quanto à estanqueidade à água das juntas tratadas com manta de elastômero EPDM. A ausência de manchas de umidade na face interna do modelo indica que a tinta acrílica aplicada na superfície externa foi suficiente para evitar a passagem de água através das eventuais fissuras geradas no modelo durante o ensaio de exposição ao calor e choque térmico.

Aplicando-se os mesmos critérios prescritos pela ABNT NBR 15.575-4:2013 para classificação de SVVE quanto ao desempenho à estanqueidade à água, pode-se classificar as interfaces entre alvenaria e estrutura de aço avaliadas como de desempenho superior (S).

A adaptação do ensaio de exposição à ação do calor e choque térmico e o ensaio de estanqueidade à água para avaliação do desempenho quanto à durabilidade e à

estanqueidade à água de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço foram alcançados de forma satisfatória.

De forma sintética, com base no trabalho desenvolvido pode-se afirmar que o tratamento de interfaces entre SVVE e estrutura de aço com manta de elastômero EPDM atende aos requisitos de durabilidade e estanqueidade à água, o que permite atestar a sua aplicabilidade a obras novas e existentes.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros tem-se:

- avaliar o desempenho de interfaces com juntas verticais e horizontais, tratadas com manta de elastômero EPDM, sujeitas à ação de raios ultravioleta;
- avaliar interfaces de alvenarias vinculada à estrutura de aço;
- ensaiar um número maior de exemplares de forma a permitir uma avaliação com significância estatística.
- ampliar o estudo de avaliação de interfaces entre alvenaria e estrutura de aço para outros tipos de tratamento;
- avaliar o deslocamento máximo relativo suportado pelas juntas tratadas com manta de elastômero EPDM;
- avaliar a equivalência entre o tempo do ensaio de envelhecimento acelerado e o tempo real de exposição de um SVVE ao longo de sua vida útil.

Referências Bibliográficas

ALBRECHT, T.F.; SOUZA, D.A.S.; PAES, J.L.R. **Elaboração de diagnóstico sobre problemas patológicos em um edifício em estrutura mista.** In: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL DEFECTS AND REPAIR, 2008, Fevereiro. Anais. Aveiro, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM E514 **Standard Test Method for Field Determination of Water Penetration of Masonry Wall Surfaces.** USA, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.ASTM C 1185-8: **Standard Test Methods For Sampling And Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing And Siding Shingles, And Clapboards.** Philadelphia, 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 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 à 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 6123: **Forças devidas ao vento em edificações.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15.575-1: **Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15.575-4: **Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro, 2013.

AUSTRALIAN NEW ZEALAND STANDARD 2908: **Cellulose Cement Products: Corrugated Sheets**. Sidney, 2000.

BELTRAME, F. R.; LOH, K. **Aplicação de selantes em juntas de movimentação de fachadas: boas práticas. Série Recomendações Técnicas Habitare - Vol. 5**. Porto Alegre: Antac, 2009, 64p.

BORGES, C.A.M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, 2008.

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.

EUROCODE EN 12.865 **Hygrothermal Performance Of Building Components And Buildingelements - Determination Of The Resistance Of External Wall Systems To Driving Rain Under Pulsating Air Pressure**. Brussels, 2001

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS 004: **Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems WithRendering**. Brussels, 2008.

FONTENELLE, J. H. **Sistema de fixação e juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental**. Dissertação de Mestrado em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FRANCO, R. N. **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 de Mestrado em Engenharia Civil- Universidade Federal de viçosa, Viçosa, 2019.

GRICIUTĖ, G. ; Bliūdžius, R. ;Norvaišienė, R. ; **The durability test method for external thermal insulation composite system (ETICS) used in cold and wet climate countries**, *RNAL OF SUSTAINABLE ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING*, Lithuania, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.ISO 8336: **Fibre-Cement Flat Sheets**. Genebra, 2009.

LASKA, W. **Masonry and steel detailing handbook**. USA: The Aberdeen Group, 1993.

LORENZI, S. L. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT 15.575 (2013) para edificações habitacionais de interesse térreas**. – Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2013.

OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H.; MITIDIERI FILHO, C. V. **Durabilidade De Fachadas: Método De Ensaio Para Verificação Da Resistência À Ação De Calor E Choque Térmico**. *Ambient. Constr.*, Porto Alegre , v. 14, n. 4, p. 53-67, Dec. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400005&lng=en&nrm=iso> acessado em 05 de fevereiro de 2019.

QUINTELA, M. B. O. A. **Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada**. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto – Portugal, 2006.

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.

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.

VARISCO, M. Q. **Análise do Desempenho de Blocos de Concreto celular autoclavado em um Sistema de Vedação Externa**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de

Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento/ Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014.

APÊNDICE A



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT1-JV1-E1

FOLHA: 1/1

CICLO 1

Umidade relativa do ar: 65%

Data: 16/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	07:34	20,4	20,4	20,5	20,4	20,4	20,9	22
temperatura constante (início)	08:12	82,1	81,8	77	78,9	80,0	20,9	23
temperatura constante (fim)	09:12	82,9	84,8	80,4	79,8	82,0	75,1	23
resfriamento	09:41	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	25,7	23

CICLO 2

Umidade relativa do ar: 65%

Data: 16/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	09:41	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	25,7	23
temperatura constante (início)	10:20	80,5	81,3	77,1	77,7	79,2	87,3	24
temperatura constante (fim)	11:20	80,2	79,3	80,0	79,2	79,7	88,7	
resfriamento	11:49	24,8	24,7	24,9	25,0	24,9	21,9	

CICLO 3

Umidade relativa do ar: 66%

Data: 16/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	11:49	24,8	25,5	25,6	25,6	25,4	21,9	24
temperatura constante (início)	12:22	80,3	82,3	77,1	77,5	79,3	72,1	
temperatura constante (fim)	13:22	80,0	83,0	79,4	82,1	81,1	65	
resfriamento	13:46	24,9	25,0	24,9	24,7	24,9	31,6	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT1-JV1-E1

FOLHA: 2/3

CICLO 4

Umidade relativa do ar: 68%

Data: 16/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:46	24,9	25,5	25,6	25,3	25,3	31,6	23
temperatura constante (início)	14:22	79,5	79,5	77,1	77,9	78,5	72,7	
temperatura constante (fim)	15:22	83,0	83,1	81,4	81,7	82,3	78,5	
resfriamento	15:51	24,1	24,2	24,8	24,4	24,4	32,1	

CICLO 5

Umidade relativa do ar: 62%

Data: 17/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:51	19,4	19,4	19,4	19,5	19,4	19,7	22
temperatura constante (início)	16:26	78,0	79,5	77,1	78,4	78,3	71,7	
temperatura constante (fim)	17:26	81,4	82,3	81,3	80,8	81,5	76,5	
resfriamento	17:51	24,9	25,0	24,8	24,4	24,8	26,4	

CICLO 6

Umidade relativa do ar: 67%

Data: 17/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	17:51	25,5	25,2	25,3	24,4	25,1	26,4	24
temperatura constante (início)	18:39	77,2	79,3	78,6	79,2	78,6	62,4	
temperatura constante (fim)	19:39	81,6	82,4	81,9	81,4	81,8	78,1	
resfriamento	19:55	24,9	25,0	24,8	25,0	24,9	25,8	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT1-JV1-E1

FOLHA: 3/3

CICLO 7

Umidade relativa do ar: 74%

Data: 17/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	10:52	25,4	25,2	25,1	25,3	25,3	25,8	23
temperatura constante (início)	11:31	80,3	81,2	77,4	80,7	79,9	63,3	
temperatura constante (fim)	12:31	81,2	80,9	80,5	80,0	80,7	73,3	
resfriamento	13:08	24,8	24,5	25,0	25,0	24,8	25,8	

CICLO 8

Umidade relativa do ar: 75%

Data: 17/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:08	24,2	23,9	23,9	23,9	24,0	25,8	24
temperatura constante (início)	13:47	24,8	25,6	25,8	25,7	25,5	63,2	
temperatura constante (fim)	14:47	79,9	82,7	77,4	81,5	80,4	75	
resfriamento	15:15	79,5	79,9	79,0	79,1	79,4	28,3	

CICLO 9

Umidade relativa do ar: 72%

Data: 17/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:16	25,4	25,3	24,9	24,9	25,1	28,3	22
temperatura constante (início)	15:50	80,0	81,1	77,6	79,9	79,7	57,7	
temperatura constante (fim)	16:50	81,2	81,0	80,9	80,8	81,0	76,2	
resfriamento	17:10	24,5	25,0	24,8	25,2	24,9	30,6	

CICLO 10

Umidade relativa do ar: 69%

Data: 18/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	17:11	20,5	20,6	20,5	20,6	20,6	20,9	22
temperatura constante (início)	17:50	77,6	82,0	79,5	81,6	80,2	59,2	
temperatura constante (fim)	18:50	80,8	82,7	80,5	82,7	81,7	66,6	
resfriamento	19:13	25,0	23,9	24,8	24,6	24,6	26,4	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT1-JV1-E2

FOLHA: 2/3

CICLO 4

Umidade relativa do ar: 68%

Data: 23/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:21	23,5	23,4	23,4	23,8	23,5	24,3	23
temperatura constante (início)	15:57	80,8	82,6	77,1	82,6	80,8	87,2	
temperatura constante (fim)	16:57	80,9	78,2	80,2	77,9	79,3	83,4	22
resfriamento	17:18	23,8	23,3	23,2	23,7	23,5	24,9	

CICLO 5

Umidade relativa do ar: 68%

Data: 23/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	17:18	23,8	23,3	23,2	23,7	23,5	24,9	
temperatura constante (início)	17:55	78,1	79,8	77,2	78,4	78,4	85,5	
temperatura constante (fim)	18:55	80,4	79,2	80,9	78,8	79,8	84,1	19
resfriamento	19:18	22,8	22,5	23,8	22,6	22,9	22,9	

CICLO 6

Umidade relativa do ar: 62%

Data: 25/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	08:11	15,8	15,7	15,8	15,7	15,8	15,9	17
temperatura constante (início)	08:57	78,3	80,0	77,2	80,1	78,9	74,3	
temperatura constante (fim)	09:57	81,3	80,5	80,4	78,2	80,1	78,1	
resfriamento	10:15	23,4	23,3	23,0	23,1	23,2	23	21



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT1-JV1-E2

FOLHA: 3/3

CICLO 7

Umidade relativa do ar: 72%

Data: 25/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	10:15	23,4	23,3	23,0	23,1	23,2	23	21
temperatura constante (início)	10:51	77,5	78,8	77,3	78,7	78,1	83,2	
temperatura constante (fim)	11:51	80,4	79,1	81,0	79,0	79,9	83,3	
resfriamento	12:12	22,9	23,3	23,0	23,1	23,1	24,2	22

CICLO 8

Umidade relativa do ar: 77%

Data: 25/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	12:12	22,9	23,3	23,0	23,1	23,1	24,2	
temperatura constante (início)	12:50	79,0	80,5	77,0	79,3	79,0	85,2	
temperatura constante (fim)	13:50	82,6	80,3	81,1	80,3	81,1	85,2	
resfriamento	14:13	24,0	23,7	23,5	23,2	23,6	25,5	22

CICLO 9

Umidade relativa do ar: 75%

Data: 25/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	14:13	24	23,7	23,5	23,2	23,6	25,5	21
temperatura constante (início)	15:50	80,3	82,2	77,2	81,4	80,3	85,8	
temperatura constante (fim)	15:50	82,7	81,3	81,2	80,4	81,4	85,5	
resfriamento	16:14	23,5	23,3	23,6	23,3	23,4	24,1	

CICLO 10

Umidade relativa do ar: 68%

Data: 25/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	16:14	23,5	23,3	23,6	23,3	23,4	24,1	21
temperatura constante (início)	16:51	80,0	82,8	77,1	82,2	80,5	86	
temperatura constante (fim)	17:51	81,2	81,8	81,9	82,0	81,7	85,2	
resfriamento	18:11	23,2	23,8	23,1	23,7	23,5	25,3	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT2-JH1/JH3-E1

FOLHA: 1/1

CICLO 1

Umidade relativa do ar: 71%

Data: 19/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	09:15	15,4	15,8	15,5	15,5	15,6	17,1	17
temperatura constante (início)	09:53	79,1	80,5	78,0	81,1	79,7	76,5	18
temperatura constante (fim)	10:53	82,0	82,9	82,1	82,2	82,3	71,1	
resfriamento	11:22	22,4	23,3	24,0	23,2	23,2	25,6	21

CICLO 2

Umidade relativa do ar: 74%

Data: 19/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	11:22	22,4	23,3	24,0	23,2	23,2	25,6	21
temperatura constante (início)	12:01	79,0	80,4	77,2	78,6	78,8	80,9	22
temperatura constante (fim)	13:01	81,6	82,7	82,0	80,8	81,8	84,2	
resfriamento	13:30	24,0	24,0	24,7	24,1	24,2	25,7	

CICLO 3

Umidade relativa do ar: 77%

Data: 19/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:34	24,0	24,0	24,7	24,1	24,2	25,7	23
temperatura constante (início)	14:07	80,6	82,4	77,6	80,7	80,3	86,1	
temperatura constante (fim)	15:07	78,3	79,2	79,9	78,8	79,1	87	
resfriamento	15:31	24,4	24,2	24,9	24,5	24,5	25	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT2-JH1/JH3-E1

FOLHA: 2/3

CICLO 4

Umidade relativa do ar: 75%

Data: 19/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:31	24,4	24,2	24,9	24,5	24,5	25	21
temperatura constante (início)	16:07	77,9	79,6	77,5	79,1	78,5	86,8	19
temperatura constante (fim)	17:07	78,5	78,4	79,5	78,1	78,6	87,9	17
resfriamento	17:36	23,6	23,2	23,6	22,9	23,3	26,2	

CICLO 5

Umidade relativa do ar: 72%

Data: 20/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	17:36	23,6	23,2	23,6	22,9	23,3	26,2	17
temperatura constante (início)	18:11	79,8	81,7	77,7	81,6	80,2	89,2	
temperatura constante (fim)	19:11	81,5	81,0	81,7	80,3	81,1	90	15
resfriamento	19:36	24,9	25,0	24,2	24,1	24,6	28,1	

CICLO 6

Umidade relativa do ar: 78%

Data: 20/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	08:48	11,3	11,6	11,2	11,4	11,4	11,9	15
temperatura constante (início)	09:36	77,9	82,0	80,1	80,1	80,0	89,7	
temperatura constante (fim)	10:36	78,5	78,2	79,3	78,1	78,5	91,4	18
resfriamento	10:52	23,5	23,4	22,5	22,6	23,0	26,8	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT2-JH1/JH3-E1

FOLHA: 3/3

CICLO 7

Umidade relativa do ar: 74%

Data: 20/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	10:52	23,5	23,4	22,5	22,6	23,0	26,8	22
temperatura constante (início)	11:31	80,9	82,8	77,5	81,9	80,8	87,9	
temperatura constante (fim)	12:31	80,0	83,0	81,2	83,0	81,8	82,8	
resfriamento	13:08	24,8	23,4	23,0	23,0	23,6	25	

CICLO 8

Umidade relativa do ar: 72%

Data: 20/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:08	24,2	23,9	23,9	23,9	24,0	25,8	22
temperatura constante (início)	13:47	24,8	25,6	25,8	25,7	25,5	63,2	
temperatura constante (fim)	14:47	79,9	82,7	77,4	81,5	80,4	75	
resfriamento	15:15	79,5	79,9	79,0	79,1	79,4	28,3	

CICLO 9

Umidade relativa do ar: 72%

Data: 20/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:16	24,2	23,8	24,5	23,5	24,0	26,5	23
temperatura constante (início)	15:50	79,5	82,1	78,2	82,2	80,5	91,1	
temperatura constante (fim)	16:50	79,2	77,3	80,4	77,8	78,7	92,5	
resfriamento	17:10	24,7	24,0	23,7	23,8	24,1	26,9	22

CICLO 10

Umidade relativa do ar: 69%

Data: 20/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	17:11	24,7	24,0	23,7	23,8	24,1	26,9	
temperatura constante (início)	17:50	78,2	81,0	77,5	80,4	79,3	88,5	19
temperatura constante (fim)	18:50	82,0	82,1	82,3	82,8	82,3	91	
resfriamento	19:13	23,5	22,7	22,9	23,0	23,0	26,7	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT2-JH1/JH3-E2

FOLHA: 1/1

CICLO 1

Umidade relativa do ar: 45%

Data: 26/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	09:32	19,1	19,3	19,1	19,3	19,2	19,2	18
temperatura constante (início)	10:05	77,6	81,2	79,0	82,0	80,0	83,8	
temperatura constante (fim)	11:05	80,2	79,9	79,5	78,5	79,5	90,8	
resfriamento	11:22	23,0	23,6	23,5	23,2	23,3	24	

CICLO 2

Umidade relativa do ar: 46%

Data: 26/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	11:22	23,0	23,6	23,5	23,2	23,3	24	20
temperatura constante (início)	11:46	77,7	80,5	80,0	80,3	79,6	84,1	
temperatura constante (fim)	12:46	83,1	83,9	82,7	83,4	83,3	91,1	
resfriamento	13:12	23,3	23,4	23,0	23,0	23,2	25	

CICLO 3

Umidade relativa do ar: 52%

Data: 26/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:12	23,3	23,4	23,0	23,0	23,2	25	24
temperatura constante (início)	13:42	77,7	80,0	78,0	80,7	79,1	87,9	
temperatura constante (fim)	14:42	81,5	82,7	83,0	82,4	82,4	93,2	
resfriamento	15:15	23,3	23,7	23,5	23,4	23,5	25,3	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT2-JH1/JH3-E2

FOLHA: 2/3

CICLO 4

Umidade relativa do ar: 54%

Data: 26/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:31	0,6	23,3	23,7	23,5	23,4	23,5	23
temperatura constante (início)	16:07	0,7	78,0	78,3	77,4	78,0	77,9	
temperatura constante (fim)	17:07	0,7	81,1	82,1	81,1	81,0	81,3	22
resfriamento	17:36	0,7	23,1	23,9	23,3	22,9	23,3	

CICLO 5

Umidade relativa do ar: 51%

Data: 26/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	17:11	23,1	23,9	23,3	22,9	23,3	24,9	
temperatura constante (início)	17:35	80,1	80,2	77,4	80,2	79,5	86,1	
temperatura constante (fim)	18:35	81,4	81,5	81,1	80,4	81,1	91,8	19
resfriamento	19:02	23,2	23,4	23,6	22,9	23,3	25,2	

CICLO 6

Umidade relativa do ar: 44%

Data: 27/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	07:59	18,0	18,0	17,9	17,9	18,0	18,1	17
temperatura constante (início)	08:31	77,4	77,9	78,4	78,4	78,0	91,1	
temperatura constante (fim)	09:31	82,0	83,7	82,6	83,3	82,9	94,3	
resfriamento	09:48	21,5	21,8	21,2	21,6	21,5	23,3	21



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT2-JH1/JH3-E2

FOLHA: 3/3

CICLO 7

Umidade relativa do ar: 43%

Data: 27/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	09:48	21,5	21,8	21,2	21,6	21,5	23,3	21
temperatura constante (início)	10:10	77,4	81,3	80,3	79,7	79,7	80,4	
temperatura constante (fim)	11:10	80,5	83,3	80,2	83,6	81,9	92,5	
resfriamento	11:38	22,5	22,7	22,1	22,0	22,3	23,9	22

CICLO 8

Umidade relativa do ar: 40%

Data: 27/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	11:38	22,5	22,7	22,1	22,0	22,3	23,9	
temperatura constante (início)	12:08	77,8	79,9	77,6	82,6	79,5	89,1	
temperatura constante (fim)	13:08	82,2	82,9	82,2	83,0	82,6	93,2	
resfriamento	13:35	23,7	22,5	22,5	23,4	23,0	24,6	22

CICLO 9

Umidade relativa do ar: 38%

Data: 27/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:35	23,7	22,5	22,5	23,4	23,0	24,6	
temperatura constante (início)	14:04	80,1	82,4	77,6	82,1	80,6	89,7	22
temperatura constante (fim)	15:04	80,4	82,0	78,2	81,7	80,6	95	
resfriamento	15:32	23,3	23,8	23,6	23,2	23,5	24,6	

CICLO 10

Umidade relativa do ar: 42%

Data: 27/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:32	23,3	23,8	23,6	23,2	23,5	24,6	
temperatura constante (início)	16:02	79,1	80,0	78,1	79,8	79,3	88,2	
temperatura constante (fim)	17:02	79,6	81,3	79,2	81,6	80,4	92,4	21
resfriamento	17:24	23,3	23,9	23,4	22,9	23,4	26,7	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT3-JV1-E1

FOLHA: 1/1

CICLO 1

Umidade relativa do ar: 54%

Data: 21/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	07:12	15,5	15,2	15,1	15,3	15,3	14,9	16
temperatura constante (início)	07:50	80,0	78,1	80,0	77,0	78,8	90	
temperatura constante (fim)	08:50	79,0	79,3	80,9	78,3	79,4	84,4	
resfriamento	09:19	23,2	23,2	23,4	22,8	23,2	21,8	

CICLO 2

Umidade relativa do ar: 52%

Data: 21/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	09:19	23,2	23,2	23,4	22,8	23,2	21,8	18
temperatura constante (início)	09:58	77,8	78,5	77,2	79,1	78,2	92,8	
temperatura constante (fim)	10:58	81,1	82,0	82,2	81,4	81,7	93,4	
resfriamento	11:27	24,6	24,4	25,0	24,2	24,6	24,1	

CICLO 3

Umidade relativa do ar: 57%

Data: 21/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	11:27	24,6	24,4	25,1	24,2	24,6	24	21
temperatura constante (início)	12:00	80,1	80,9	77,5	80,9	79,9	94,3	
temperatura constante (fim)	13:00	80,0	80,3	79,4	79,9	79,9	98,8	
resfriamento	13:24	24,4	24,3	24,5	24,1	24,3	25	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT3-JV1-E1

FOLHA: 2/3

CICLO 4

Umidade relativa do ar: 52%

Data: 21/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:24	24,4	24,3	24,5	24,1	24,3	25	23
temperatura constante (início)	14:00	78,8	82,6	77,2	82,3	80,2	95,4	
temperatura constante (fim)	15:00	79,0	79,2	80,8	81,3	80,1	94,6	
resfriamento	15:29	23,8	23,7	23,6	23,7	23,7	23,9	

CICLO 5

Umidade relativa do ar: 49%

Data: 21/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:29	23,8	23,7	23,6	23,7	23,7	23,9	20
temperatura constante (início)	16:04	78,0	81,2	77,5	81,0	79,4	95	
temperatura constante (fim)	17:04	80,7	82,0	80,3	80,6	80,9	98,2	
resfriamento	17:29	21,9	21,7	21,9	22,0	21,9	22,1	

CICLO 6

Umidade relativa do ar: 52%

Data: 22/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	07:24	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,7	16
temperatura constante (início)	08:12	80,2	79,5	77,1	80,1	79,2	96,6	
temperatura constante (fim)	09:12	80,6	80,7	80,9	78,6	80,2	92,9	
resfriamento	09:28	24,5	24,2	24,3	24,3	24,3	23,5	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT3-JV1-E1

FOLHA: 3/3

CICLO 7

Umidade relativa do ar: 52%

Data: 22/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	09:28	24,5	24,2	24,3	24,3	24,3	23,5	18
temperatura constante (início)	10:07	80,4	82,6	77,5	81,5	80,5	96,2	
temperatura constante (fim)	11:07	80,1	82,4	80,0	82,9	81,4	95,4	
resfriamento	11:44	24,2	23,9	23,9	23,9	24,0	22,8	

CICLO 8

Umidade relativa do ar: 55%

Data: 22/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	11:44	24,2	23,9	23,9	23,9	24,0	22,8	21
temperatura constante (início)	12:23	78,0	79,2	77,0	78,4	78,2	94,8	
temperatura constante (fim)	13:23	82,0	83,1	81,1	82,2	82,1	99	
resfriamento	13:51	23,8	23,7	23,8	23,8	23,8	23,7	

CICLO 9

Umidade relativa do ar: 58%

Data: 17/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:51	23,8	23,7	23,8	23,8	23,8	23,7	21
temperatura constante (início)	14:25	80,0	80,2	77,3	80,1	79,4	95	
temperatura constante (fim)	15:25	79,0	79,9	80,0	78,3	79,3	96,9	
resfriamento	15:45	23,0	23,9	23,7	23,4	23,5	23	

CICLO 10

Umidade relativa do ar: 60%

Data: 22/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:45	23,0	23,9	23,7	23,4	23,5	23	20
temperatura constante (início)	16:24	77,4	79,2	77,0	78,8	78,1	94,6	
temperatura constante (fim)	17:24	81,0	82,3	80,1	79,7	80,8	99,8	
resfriamento	17:47	23,5	23,8	23,9	23,7	23,7	23,8	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT3-JV1-E2

FOLHA: 1/1

CICLO 1

Umidade relativa do ar: 37%

Data: 28/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	07:44	17,5	17,4	17,4	17,4	17,4	16,7	18
temperatura constante (início)	08:17	80,7	83,2	78,0	82,5	81,1	87,3	
temperatura constante (fim)	09:17	81,4	81,6	81,2	80,1	81,1	87,3	
resfriamento	09:39	21,8	21,2	21,4	21,0	21,4	19,5	

CICLO 2

Umidade relativa do ar: 42%

Data: 28/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	09:39	21,8	21,2	21,4	21,0	21,4	19,5	20
temperatura constante (início)	10:18	78,8	82,4	77,2	82,3	80,2	92,8	
temperatura constante (fim)	11:18	82,0	83,1	81,9	82,9	82,5	95,3	
resfriamento	11:40	21,8	21,9	21,9	21,9	21,9	19,4	

CICLO 3

Umidade relativa do ar: 42%

Data: 28/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	11:40	21,8	21,9	21,9	21,9	21,9	19,4	23
temperatura constante (início)	12:17	79,4	82,6	77,8	82,5	80,6	93,2	
temperatura constante (fim)	13:14	79,8	80,5	79,8	79,2	79,8	96,4	
resfriamento	13:37	20,5	20,8	22,1	20,6	21,0	19,1	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT3-JV1-E2

FOLHA: 2/3

CICLO 4

Umidade relativa do ar: 44%

Data: 28/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:37	20,5	20,8	22,1	20,6	21,0	19,1	23
temperatura constante (início)	14:12	78,5	77,3	81,5	81,4	79,7	92,2	
temperatura constante (fim)	15:12	81,2	815,0	80,7	78,1	263,8	95	
resfriamento	15:33	21,3	20,5	21,8	20,5	21,0	18,7	22

CICLO 5

Umidade relativa do ar: 39%

Data: 28/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	15:33	21,3	20,5	21,8	20,5	21,0	18,7	19
temperatura constante (início)	16:08	78,5	81,9	77,7	82,1	80,1	92,5	
temperatura constante (fim)	17:08	80,0	78,9	79,0	78,4	79,1	90,8	
resfriamento	17:28	21,3	21,7	218,0	21,4	70,6	19,3	18

CICLO 6

Umidade relativa do ar: 49%

Data: 29/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	07:32	13,3	13,3	13,4	13,6	13,4	13,6	14
temperatura constante (início)	08:28	79,3	79,8	77,4	80,0	79,1	95,8	
temperatura constante (fim)	09:28	78,8	78,8	78,3	77,7	78,4	96,6	
resfriamento	09:44	21,6	20,5	21,1	21,0	21,1	18,5	



ENSAIO DE EXPOSIÇÃO À AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Interface INT3-JV1-E2

FOLHA: 3/3

CICLO 7

Umidade relativa do ar: 51%

Data: 29/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	09:44	21,6	20,5	21,1	21,0	21,1	18,5	18
temperatura constante (início)	10:19	79,1	80,3	77,2	79,7	79,1	92,9	
temperatura constante (fim)	11:19	80,2	81,9	81,6	82,7	81,6	96,7	
resfriamento	11:39	21,3	20,6	21,8	20,7	21,1	19,6	

CICLO 8

Umidade relativa do ar: 68%

Data: 29/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	11:39	21,3	20,6	21,8	20,7	21,1	19,6	22
temperatura constante (início)	12:24	80,7	77,0	82,7	82,4	80,7	95	
temperatura constante (fim)	13:24	79,6	80,2	79,5	81,5	80,2	95,6	
resfriamento	13:50	20,8	21,1	21,3	21,1	21,1	19,4	

CICLO 9

Umidade relativa do ar: 71%

Data: 29/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	13:50	20,8	21,1	21,3	21,1	21,1	19,4	23
temperatura constante (início)	14:35	79,2	80,2	77,3	8,4	61,3	94,3	
temperatura constante (fim)	15:35	82,0	83,7	81,8	81,2	82,2	97	
resfriamento	16:04	21,5	21,9	21,4	21,6	21,6	19,8	

CICLO 10

Umidade relativa do ar: 68%

Data: 29/05/2018

Fase do ensaio	Horário (h)	Temperatura nos termopares (°C)						Temperatura ambiente (°C)
		TP ₁	TP ₂	TP ₃	TP ₄	T _{par. média}	T _{junta}	
aquecimento	16:04	21,5	21,9	21,4	21,6	21,6	19,8	22
temperatura constante (início)	16:45	79,3	80,4	77,2	80,5	79,4	94,9	
temperatura constante (fim)	17:45	81,8	79,0	80,0	78,8	79,9	97,5	
resfriamento	18:05	21,3	21,6	21,4	21,0	21,3	20,3	