

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

**Tratamento de Umidade Ascensional em Paredes Através de
Inserção de Barreiras Químicas por Gravidade**

Rafaela Falcão Socoloski

Porto Alegre
2015

Rafaela Falcão Socoloski

**TRATAMENTO DE UMIDADE ASCENSIONAL EM PAREDES
ATRAVÉS DE BARREIRAS QUÍMICAS POR GRAVIDADE**

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

Porto Alegre
2015

RAFAELA FALCÃO SOCOLOSKI

**TRATAMENTO DE UMIDADE ASCENSIONAL EM PAREDES
ATRAVÉS DE BARREIRAS QUÍMICAS POR GRAVIDADE**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 28 de maio de 2015

Prof. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Prof. Armando Miguel Awruch
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Margarete Regina Freitas Gonçalves
Dra. pela UFRGS

Prof. Claudio de Souza Kazmierczak (UNISINOS)
Dr. pela USP

Prof. Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra. pela UFRGS

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria da Graça e Romeu Luiz e meu esposo Miguel Assis pela compreensão e colaboração durante o período de seu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por eu estar viva, pela capacidade intelectual e força de vontade que me concedeu e principalmente por permitir pessoas tão especiais junto a mim, sem as quais eu não estaria aqui hoje.

Gostaria de agradecer meus pais, pelo amor a mim dedicado, pelos valores ensinados em casa, como caráter, dedicação, comprometimento e caridade, que a cada ano de vida confirmam que são a melhor forma de atingir o sucesso. Agradeço à minha família e família do meu esposo que sempre me apoiaram nos estudos. Destaco minhas irmãs Juliana, Giovana e Bárbara, sempre torcendo e rezando por mim e colaborando, cada uma de sua forma, para que eu alcançasse meus objetivos. Junto às minhas irmãs, agradeço minha afilhada Izabela, ao amor sempre demonstrado mesmo distante, e que, hoje, sonha em trabalhar em um laboratório como cientista, recordando minha infância.

Não posso deixar de reconhecer a suma importância de meu esposo, Miguel Assis, que colaborou de forma direta em algumas etapas do desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço também pelo carinho, amor e apoio a mim dedicados desde o tempo de graduação. Obrigada pela compreensão nos momentos de tensão, estresse e quando não tive tempo para lhe dedicar a devida atenção de esposa.

Agradeço à Prof. Angela Borges Masuero, orientadora deste trabalho, pela compreensão e apoio nos momentos de dificuldade, pelo incentivo, pelos livros emprestados, e principalmente pela dedicação em suas orientações ao longo destes dois anos de convívio e pesquisa. Não posso deixar de agradecer a amizade desta professora que tornou este período mais tranquilo e leve através de conversas sinceras, palavras carinhosas, que muitas vezes abriu as portas de sua casa para acolher o grupo de pesquisa para confraternizações e que sempre zelou pelo espírito de equipe dentro do NORIE, assim formando o sentimento de uma grande família.

Meu muito obrigado ao professor João Ricardo Masuero que sempre se mostrou muito solícito e, mesmo em poucos encontros, contribuiu de forma fundamental para o alcance dos resultados deste trabalho. Um profissional tão admirado por seus alunos e reconhecido não apenas pelos seus conhecimentos, mas principalmente por ser um verdadeiro professor, que está sempre disposto a colaborar com o crescimento de quem o procura e se importa realmente com o ensinar.

Agradeço às Professoras Denise Carpena Coitinho Dal Molin e Ana Paula Kirchheim, aos professores Luis Carlos Bonin, que em diversos momentos repassaram seus conhecimentos, ajudaram em algumas decisões tomadas e forneceram materiais para apoio desta pesquisa. Sou grata também pelos momentos em que conseguimos apenas conversar tomando um café, onde se colocavam como iguais, mesmo tão distintos pelos seus conhecimentos.

À turma de mestrado do NORIE, meu muito obrigada, Ana Paula, Anile, Ariane (amiga com quem dividi armário, muitos trabalhos, desabafos entre outros), Camila Viviane, Gabriela A., Gabriela R., Maria Fernanda, Márlon, Natalia, Rafaela B. e Rodrigo, por tudo que vivemos, pelo apoio, incentivo e momentos de laser. Aos colegas de “salinha” de outras turmas de mestrado e doutorado, aos “vizinhos de salinha”, pessoal do pós-doutorado, à Michele, Fernanda e Rose,

pela colaboração em diversos momentos e pela boa conversa que contribuía para um cotidiano mais tranquilo.

Um agradecimento especial aos laboratoristas Airton, Gilmar e Demétrius, e aos graduandos de iniciação científica Andres, Arthur, Bruno M., Bruno S., Carolina, Davi, Elias, Francine, Jéssica, Leonardo, Luiz Gustavo e Rafael pelo auxílio no laboratório, sem vocês este trabalho realmente não teria como acontecer. Obrigada não somente pela colaboração, mas também pela amizade.

Agradeço à banca avaliadora, Margarete Regina Freitas Gonçalves, Prof. Claudio de Souza Kazmierczake Prof. Ana Paula Kirchheim que disponibilizaram seu tempo para se dedicar a leitura e correção desta pesquisa.

Agradeço à Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos que, junto à ajuda financeira familiar, possibilitou a minha total dedicação aos estudos, assim concluindo esta pesquisa de Mestrado no período previsto.

Desejo, a todos que contribuíram com este trabalho, que Deus lhes conceda muita saúde e que obtenham sempre muito sucesso na vida!

Há pessoas que desejam saber só por saber, e isso é curiosidade; outras, para alcançarem fama, e isso é vaidade; outras para enriquecerem com sua ciência, e isso é um negócio torpe; outras, para serem edificadas, e isso é prudência; outras, para edificarem os outros, e isso é caridade.

Santo Agostinho

RESUMO

SOCOLOSKI, R.F. Tratamento de Umidade Ascensional em Paredes Através de Barreiras Químicas por Gravidade. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A umidade nas edificações pode ser proveniente de diversas fontes. Entre elas está a umidade ascensional, que provém do solo na ausência ou falha de barreiras. A umidade ascende pelas paredes por capilaridade existente devida a estrutura porosa dos materiais de construção. Sua ação pode prejudicar o desempenho das paredes das edificações, possibilitando a degradação progressiva das paredes. Dessa forma, estas podem deixar de cumprir funções, como por exemplo, de proteção e acabamento. Vários tratamentos têm sido estudados pelo mundo. Entretanto a avaliação dos métodos de reparação das paredes afetadas tem sido um problema de difícil resolução. O objetivo deste trabalho é a avaliação da eficiência do tratamento de paredes com umidade ascensional através do método de corte hídrico por inserção do cristalizante através da ação gravitacional, utilizando os diferentes produtos disponíveis no mercado nacional brasileiro. Apesar de limitada a paredes pouco espessas, essa técnica tem apresentado eficácia, versatilidade de execução e baixa interferência na fachada da parede. Essas características justificam a escolha dessa técnica para servir de objeto de estudo do presente trabalho. Visto que não há ensaio normalizado para avaliar a eficiência dos produtos para tratamento contra umidade ascensional será utilizado como referência um experimento realizado por outros pesquisadores, explanado neste documento. A avaliação da umidade presente no corpo de prova é através da medição da massa e imagens com câmera termográfica. Constatou-se que, no período analisado, não houve a redução total da umidade ascensional, no entanto os cristalizantes conseguiram diminuir consideravelmente (em média mais que 50%) a absorção da água por capilaridade.

Palavras-chave: *umidade ascensional, paredes, tratamento, barreira química.*

ABSTRACT

SOCOLOSKI, R.F. Treatment of Rising Damp in Walls through Chemical Barriers by Gravity.2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Dampness in buildings can be derived from several sources. Among them is the upward moisture, which comes from the soil in absence of barriers. The moisture ascends on the walls due to the existing capillarity of porous building materials. Its action may impair the performance of the walls of buildings, leading to their progressive degradation. Thus, the walls may cease to comply with their functions, such as protecting and finishing. Several treatments have been studied worldwide. However, evaluating the methods of repairing affected walls has been a difficult problem to be solved. The aim of this study is to evaluate the efficacy of the treatment of walls presenting upward moisture through the method of the crystallizing insertion through gravitational action using different available products within the Brazilian market. In spite of being limited to thin walls, this technique has presented efficacy, versatility of execution and little interference on the treated facade as it has been demonstrated on the studied bibliography. These features justify choosing that technique to be studied in the present work. A reference experiment conducted by other researchers is used, since there is no standard test to evaluate the efficiency of treatment products rising damp against. The evaluation of the moisture present in the specimen is by measuring the mass and images with thermographic camera. It was found that in the period analyzed, there was no reduction of the total moisture upward. However the crystallizing managed to reduce significantly (on average more than 50%) the absorption of water by capillarity

Key-words: *rising damp, treatment, walls, chemical barrier.*

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Contexto e justificativa da pesquisa	17
1.2	Objetivos.....	19
1.2.1	Objetivos específicos	19
1.3	Estrutura da Pesquisa.....	19
2	A Umidade Ascensional	20
2.1	Caracterização e fontes da umidade ascensional	21
2.2	Transporte de umidade nos poros e capilares	23
2.2.1	A altura atingida pela umidade ascensional.....	30
2.3	A influência dos sais na ocorrência da umidade ascensional	33
3	Diagnóstico e Tratamento de Umidade Ascensional em Paredes	37
3.1	Diagnóstico.....	37
3.1.1	Análise não destrutiva.....	38
3.1.2	Análise destrutiva	41
3.2	Tratamentos de paredes com umidade ascensional	42
3.2.1	Técnicas destinadas a impedir o acesso da água às paredes	43
3.2.2	Técnicas Destinadas a impedir a ascensão da água nas paredes com problemas de umidade	46
3.3	Técnicas Destinadas a retirar a água em excesso das paredes.....	58
3.3.1	Tubos de arejamento	58
3.3.2	Eletro-osmose	61
3.4	Ocultação das anomalias	63
4	Programa Experimental	65
4.1	Materiais Utilizados.....	65

4.1.1	Tijolo cerâmico maciço	66
4.1.2	Argamassa de assentamento	69
4.1.3	Químicos cristalizantes	73
4.2	Confeção dos Corpos de Prova e Realização dos Tratamentos com os Sistemas Estudados.....	74
4.2.1	Protótipo.....	75
4.2.2	Execução dos corpos de prova após modificações	81
4.2.3	Tratamento com produtos cristalizantes	82
4.3	Avaliação dos Sistemas de Tratamentos Utilizados	85
4.3.1	Medição de Massa	85
4.3.2	Imagens termográficas	88
4.3.3	Gravimetria	89
4.3.4	Análise de custos	90
5	Resultados e discussão.....	91
6	Considerações Finais	101
6.1	Conclusões.....	101
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	102
	Referências Bibliográficas	103

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1–Representação esquemática da umidificação de uma parede por águas freáticas e superficiais. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães 2008. 21
- Figura 2 - Variações típicas dos teores de umidade ascensional de paredes exteriores enterradas, em função da altura e da profundidade das sondagens. (a) umidade proveniente do lençol freático; (b) umidade proveniente de águas superficiais do terreno. Adaptado de Henriques, (2007). 22
- Figura 3 - Variações típicas dos teores de umidade ascensional de paredes exteriores não enterradas, em função da altura e da profundidade das sondagens. Adaptado de Henriques, 1995. 23
- Figura 4 – Tipos de Porosidade. (a) aberta e (b) fechada. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães 2008. 24
- Figura 5 - Evolução da altura de elevação da água em relação ao tempo. Comparação de dois capilares com raios diferentes, dispostos verticalmente. Adaptado de Bertolini (2010). 25
- Figura 6 - Fases de armazenamento de água nos poros e capilares dos materiais. Adaptado de Straube, 2005. 26
- Figura 7 - O Fenômeno da capilaridade. Adaptado de Freitas et al. 2008. 28
- Figura 8 - Formação de menisco no movimento de um líquido sobre uma superfície sólida. Fonte: Gratwick (1971). 28
- Figura 9–a) comportamento da água em um material hidrófugo; b) superfície de contato da gota d'água em uma superfície hidrófuga; c) comportamento da água em um material hidrófilo; d) superfície de contato da gota d'água em uma superfície hidrófilo. Adaptado de Bertolini (2010) 29
- Figura 10 - Umidade ascensional. (a) em paredes interiores; (b) exteriores não enterradas. Fonte: Santos (SANTOS, 2012) 30
- Figura 11 – Esquema de paredes com diferentes taxas de ascensão capilar, com mesmas condições de secagem. Adaptado de Rirsch e Zhang (2010) 31
- Figura 12 - Variação da altura atingida pela umidade ascensional, em função da espessura da parede. Adaptado de Freitas, Torres e Guimarães, 2008. 32
- Figura 13 - Influência da impermeabilização na ascensão da umidade na parede. (A) Parede monolítica de pedra com 0,40 m sem revestimento; (B) Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco a base de gesso em uma das faces; (C) Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco a base de ligantes hidráulicos em uma das faces; (D) Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco a base de ligantes hidráulicos, em uma das faces, associada a azulejo; (E) Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco a base de gesso em uma das faces, associada a 60 cm de azulejo. Adaptado de Freitas, Torres e Guimarães, 2008. 33

Figura 14 – Capel Mor da Igreja de São Francisco, com formação de sais da zona limite da pintura e marcas da umidade ascensional. Fonte: Caetano, (2007).....	34
Figura 15 - Eflorescência distribuída na parede de forma generalizada ao longo de uma faixa regular próxima ao solo, indicando a provável existência de umidade ascensional. Fonte: Rodrigues e Gonçalves, 2007.	35
Figura 16 - Distribuição das soluções salinas mais comuns em uma parede com umidade ascensional. Adaptado de Aires Barros(2001).	36
Figura 17 - Levantamento não destrutivo realizado no edifício do Salão de Atos da UFRGS: (a) imagem digital do da vistoria realizada, (b) mapeamento de danos. Adaptado Rubin et al. (2014).	38
Figura 18 –Aplicação de termografia na construção civil. Localização de áreas úmidas e fugas caloríficas.....	40
Figura 19 - (a) Imagem termográfica. (b) Imagem digital. Identificação da estrutura oculta na fachada de um edifício em Brasília, DF. Fonte: Bauer e Leal (2013).....	40
Figura 20 - (a) Imagem termográfica da parte superior da laje. (b) Imagem digital da parte superior da laje. (c) Imagem termográfica da parte inferior da laje. (d) Imagem digital da parte inferior da laje. As áreas em tons azuis são os locais de infiltração. Fonte: Bauer e Leal (2013)	41
Figura 21 - Vala periférica com enchimento. Fonte: Henriques (2007).....	44
Figura 22 - Princípios de funcionamento de um sistema de ventilação da base das paredes. Adaptado de Teixeira, 2007.....	45
Figura 23 - Influência da redução da seção absorvente na umidade ascensional: parede sem e com aberturas, da esquerda para a direita Fonte: Teixeira 2007.	46
Figura 24 - Desenho de o que ocorre nos poros e capilares quando ocorre o corte hídrico. Adaptado de Masy (1998)	47
Figura 25 - Substituição de elementos de alvenaria. Fonte: Teixeira, 2007.....	48
Figura 26 - Método de Massari. Fonte: Teixeira, 2007.....	49
Figura 27 - Método de Schöner Turn. Introdução de chapa metálica de aço inoxidável. Fonte: Teixeira 2007.....	49
Figura 28–Representação esquemática da furação da parede para colocação do produto impermeabilizante. Fonte: Teixeira 2007.....	50
Figura 29–Representação esquemática da introdução de produtos por gravidade. Adaptado de Freitas, Torres e Guimarães., 2008.....	53
Figura 30 - Introdução de produto por gravidade. Fonte: Teixeira 2007.	53

Figura 31 - Aplicação por injeção: (a) equipamento de injeção; (b) execução da injeção. Fonte: Teixeira 2007.....	54
Figura 32–Representação esquemática do funcionamento das barreiras químicas. (a) obstrução dos poros; (b) hidrofugação dos poros. Adaptado de Masy (1998).....	54
Figura 33 - Esquema com a localização dos ensaios realizados. Fonte: Luso et al. (2003).	55
Figura 34 - Medições de umidade na parede. a) antes de sofrer intervenção; b) é após a aplicação das técnicas e secagem da parede; c) é após a colocação de água na base. Adaptado de: Luso et al. (2003).	56
Figura 35 - Legenda: M – cp de tijolo maciço sem acabamento; M1 - cp de tijolo maciço e com acabamento de argamassa em uma só face; M2 - cp de tijolo maciço e acabamento de argamassa em ambas as faces; F – cp de tijolo furado sem acabamento (7 cm); F1 - cp de tijolo furado com acabamento de argamassa e F2 - cp de tijolo furado acabamento de argamassa em ambas as faces. Adaptado de Freitas, Torres e Guimarães. 2008.	57
Figura 36 - (a) Corte esquemático do System for Rising Damp. (b) Corte esquemático do sistema com o ciclo do fluxo de ar. Adaptado de Silva (2012)	59
Figura 37 – (a) Perspectiva do Sifão composto de duas peças cerâmicas coladas; (b) Corte esquemático do sifão na base da parede com setas que indicam o movimento de fluxo de ar. Adaptado de Silva (2012).....	60
Figura 38 - Tubo de arejamento. Adaptado de Teixeira 2007	60
Figura 39 - Corte esquemático da técnica de eletro-osmose passiva. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães. (2008).	61
Figura 40 - Corte esquemático da técnica de eletro-osmose semi-passiva. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães. (2008).	62
Figura 41 - Corte esquemático da técnica de eletro-osmose ativa. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães. (2008).	62
Figura 42 - Corte esquemático da técnica de eletro-osmose forese. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães. (2008).	63
Figura 43 - Revestimento com porosidade controlada. Fonte: Teixeira 2007.....	64
Figura 44 - Ocultação das anomalias através da execução de um forro interior (detalhes construtivos). a) Fonte: Teixeira, 2007; b) Fonte: Freitas, Torres e Guimarães (2008).	64
Figura 45 - Fluxograma do programa experimental.....	65
Figura 46– Ensaio de squeeze - flow da argamassa utilizada na execução dos corpos de prova para velocidades de 0,3mm/ para os tempos de 10 e 60min após a execução da argamassa e 1mm/s para os tempos 15 e 65 min.	73

Figura 47 - Corpo de prova utilizado como modelo. Fonte Freitas, Torres e Guimarães. (2008).	74
Figura 48 - Corpo de prova utilizado por Rirsch e Zhang (2010). Fonte: Rirsch e Zhang (2010)	75
Figura 49 - Aplicador específico para produtos químicos contra umidade ascensional. (a) utilização para a saturação com água (b) colocação do produto químico (c) imagem dos produtos químicos após 48h de aplicação. Fonte: KOSTER.	76
Figura 50 – Dispositivos para aplicação do cristalizante nos furos realizados	76
Figura 51 - Execução da base de argamassa do corpo de prova: (a) acabamento superficial; (b) vista geral	77
Figura 52 - Corpo de prova executado para ensaio prévio. (a) vista em perspectiva; (b) vista frontal	77
Figura 53 – Corpo de prova colocado imerso dentro de água, o qual fica em contato apenas com a argamassa	78
Figura 54 - Materiais utilizados para a execução do ensaio. a) Gabarito de madeira para garantir a perfuração à 45° e altura de 10 cm a partir da base; b) Gabarito de madeira para garantir a perfuração à 45° e altura de 5 cm a partir da base; c) Broca de 12mm utilizada para a perfuração; d) Frasco e equipo para aplicação do cristalizante.	79
Figura 55 - Corpo de prova logo após a aplicação do produto cristalizante nas perfurações.	79
Figura 56 - Descolamento da argamassa de assentamento e tijolo, ressaltado pela seta	80
Figura 57 – Detalhe da fissura na base de argamassa de apoio da parede, da argamassa de assentamento descolada dos tijolos e tijolos quebrados pela perfuração.	80
Figura 58 - Croqui que mostra o melhoramento do corpo de prova para as próximas etapas da pesquisas	81
Figura 59 – (a) vista geral das bases dos corpos de prova (b) corpo de prova finalizado.	81
Figura 60– Aplicação do cristalizante 1 (a) imagem fotográfica; (b) corte; (c) vista.	82
Figura 61 – Aplicação do cristalizante 2 (a) imagem fotográfica; (b) corte; (c) vista.	83
Figura 62 – Aplicação do cristalizante 3 (a) imagem fotográfica; (b) corte; (c) vista.	83
Figura 63 - Perfuração à 45.	84
Figura 64 - Aplicação dos produtos nos cps. (a) pesagem do material; (b) colocação do equipo no orifício; (c) colocação do equipo no frasco; (d) aplicação do produto na parede de forma controlada.	84
Figura 65 - (a) parede seca; (b) parede com a base em contato com a água	86

Figura 66 – Manutenção das paredes com a base em contato com a água, com os produtos já aplicados conforme as recomendações de cada fabricante. (a) parede com cristalizante 1; (b) parede com cristalizante 2; (c)parede com cristalizante 3.....	86
Figura 67 – Remoção do contato da base das paredes com a água.(a) parede com cristalizante 1; (b) parede com cristalizante 2; (c)parede com cristalizante 3.	87
Figura 68 - Pontos onde foram realizadas gravimetrias no cp. (a) parede em corte, mostrando as 3 profundidades onde foram retiradas as amostras (na superfície dos dois lados e no centro); (b) vista frontal do cp mostrando a localização das alturas onde foram retiradas as amostras.....	89
Figura 69 - Imagem termográfica demarcando as áreas mais frias e mais quentes.....	90
Figura 70 - Comparação entre médias que mostra que faz diferença utilizar um cristalizante, no entanto não há diferenças significativas entre os produtos 1, 2 e 3.....	93
Figura 71 - CP 1A Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	95
Figura 72 - CP 1A Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	95
Figura 73 - CP 1A 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	96
Figura 74 - CP 1A após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	96
Figura 75 - CP 1A após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	96
Figura 76 - Ilustração do corte com os teor de umidade nas amostras retiradas dos cps onde foi aplicado o sistema proposto pelo fabricante do produto 1. (a) cp A; (b) cp C.	97
Figura 77 - Ilustração do corte com os teor de umidade nas amostras retiradas dos cps onde foi aplicado o sistema proposto pelo fabricante do produto 2. (a) cp A; (b) cp C.	98
Figura 78 - Ilustração do corte com os teor de umidade nas amostras retiradas dos cps onde foi aplicado o sistema proposto pelo fabricante do produto 3. (a) cp A; (b) cp C.	98
Figura 79 - CP 1B Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	110

Figura 80 - CP 1B Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	110
Figura 81 - CP 1B 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	111
Figura 82 - CP 1B após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	111
Figura 83 - CP 1B após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	111
Figura 84 - CP 1C Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	112
Figura 85 - CP 1C Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	112
Figura 86 - CP 1C 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	113
Figura 87 - CP 1C após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	113
Figura 88 - CP 1C após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	113
Figura 89 - CP 2A Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	114
Figura 90 - CP 2A Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	114
Figura 91 - CP 2A 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	115

Figura 92 - CP 2A após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	115
Figura 93 - CP 2A após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	115
Figura 94 - CP 2B Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	116
Figura 95 - CP 2B Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	116
Figura 96 - CP 2B 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	117
Figura 97 - CP 2B após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	117
Figura 98 - CP 2B após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	117
Figura 99 - CP 2C Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	118
Figura 100 - CP 2C Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	118
Figura 101 - CP 2C 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	119
Figura 102 - CP 2C após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	119
Figura 103 - CP 2C após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	119

Figura 104 - CP 3A Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	120
Figura 105 - CP 3A Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	120
Figura 106 - CP 3A 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	121
Figura 107 - CP 3A após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	121
Figura 108 - CP 3A após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	121
Figura 109 - CP 3B Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	122
Figura 110 - CP 3B Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	122
Figura 111 - CP 3B 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	123
Figura 112 - CP 3B após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	123
Figura 113 - CP 3B após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	123
Figura 114 - CP 3C Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.....	124
Figura 115 - CP 3C Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.	124

Figura 116 - CP 3C 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas..... 125

Figura 117 - CP 3C após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas..... 125

Figura 118 - CP 3C após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas. 125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1–Características dos tijolos utilizados na confecção dos corpos de prova.	66
Tabela 2 – Absorção Inicial e Dessorção dos tijolos - após contato de 1 min. com lâmina de 3mm água.....	68
Tabela 3 - Dessorção de argamassa - após 24h submersos na água.	68
Tabela 4–Características físico-mecânicas da argamassa utilizada na confecção dos cps.....	70
Tabela 5 – Absorção inicial e dessorção da argamassa - após contato de 1 min. com lâmina de 3mm água.	71
Tabela 6 - Dessorção de argamassa - após 24h submersos na água.	72
Tabela 7– Características química e física dos produtos químicos utilizados nos tratamentos das paredes	74
Tabela 8 - Custos dos produtos cristalizantes/m linear de parede de espessura de 90mm.....	90
Tabela 9 – Variação da umidade nos corpos de prova submetidos a tratamento com produtos distintos ¹	91
Tabela 10 - Taxas de absorção das paredes antes e após o tratamento com o cristalizante 1	92
Tabela 11 - ANOVA comparando a absorção das paredes na situação: sem cristalizante, com cristalizante 1, com cristalizante 2, com cristalizante 3.	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

a/ms: água/materiais secos

cp: Corpo de prova

kgf: quilograma força

kN: quilo Newton

μm: micrómetro

MPa: Mega Pascal

N: Newton

NBR: Norma Brasileira Regulamentada

NORIE: Núcleo Orientado para Inovação da Edificação

RS: Rio Grande do Sul

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1 INTRODUÇÃO

Os materiais de construção porosos, como tijolos e concretos, podem permitir o transporte de substâncias gasosas ou líquidas, presentes no ambiente, algumas vezes agressivas. O acesso destas substâncias está relacionado aos fenômenos de degradação destes materiais. Esta degradação não está limitada apenas a superfície, mas pode ocorrer também nas áreas mais internas. Entre os fenômenos que causam a degradação em alvenarias estão a formação de eflorescência ou criptoflorescência, o ataque por sulfatos, os manchamentos, entre outros relacionados à presença da umidade. Esta ainda pode comprometer a funcionalidade de uma edificação, como por exemplo, quando propicia o desenvolvimento de mofo, atingindo a saúde dos ocupantes, ou ainda quando reduz as propriedades de isolamento térmico, causando desconforto ou aumento de consumo energético (BERTOLINI, 2010).

Bertolini (2010) adverte que a umidade favorece o desenvolvimento de reações químicas formando novos compostos no interior dos poros ou ainda altera a composição dos constituintes dos materiais. O ataque por sulfatos, por exemplo, na presença da umidade pode causar a degradação de materiais cimentícios. O autor ainda lembra que a umidade pode permitir o ataque por parte de poluentes atmosféricos, já que tendem a formar soluções ácidas na presença da água. Aires Barros (2001) coloca como um dos principais responsáveis pela contaminação atmosférica o crescimento urbano que aumentou a circulação de automóveis e o crescimento industrial. Os automóveis que utilizam a gasolina emitem Co, Pb, NOx, CnHm, já os movidos a diesel podem emitir SO₂, SO₃, CO₂ e partículas sólidas.

Outro problema relatado por Bertolini (2010) são as ações físicas. A água poderá provocar fenômenos de expansão dos materiais de construção, principalmente quando há formação de cristais no interior dos poros. As tensões provocadas pelas expansões são capazes de gerar fissuras, descolamentos, fragmentações ou ainda desagregação dos materiais que constituem a parede. Como ações biológicas, além do desenvolvimento de fungos, mencionado anteriormente, as paredes úmidas podem desenvolver algas.

A combinação dos fungos e algas pode gerar os líquens. Estes por sua vez produzem soluções ácidas que atacam o material da superfície até alguns milímetros. Os musgos que também podem ocorrer em paredes úmidas são de fácil remoção e causam menos danos aos materiais, no entanto provocam um aspecto estético desagradável (BERTOLINI, 2010). Aires-Barros (2001) aponta diversas ações biológicas que são destrutivas aos materiais, entre elas a lixiviação (biolixiviação), a desagregação de rochas carbonatadas, quando contaminadas com bactérias que tem atividades nitrificantes e ainda, quando contaminadas com bactérias sulfúricas, podem oxidar o enxofre que ataca estes materiais.

As causas da umidade das paredes são diversas, Henriques (2007) aponta seis:

- a) umidade de construção;
- b) umidade de precipitação;
- c) umidade de condensação;
- d) umidade do terreno;
- e) umidade devido a fenômenos de higroscopicidade;
- f) umidade devida a causas fortuitas.

Paiva (1969)¹ e Massari e Massari (1993) apud Gonçalves (2007) e Henriques (2007) definem umidade ascensional como a umidade provinda do solo que migra pelas paredes por capilaridade, podendo decorrer de águas freáticas ou a águas pluviais que penetram nas camadas superficiais do solo.

Alfano et al. (2006) acredita que a umidade ascensional, mesmo quando branda, causa a deterioração de materiais da alvenaria. Quando severa pode causar sérios danos à saúde dos ocupantes do edifício e aos materiais constituintes.

Massari e Massari (1993) apud Gonçalves (2007) e Torres afirmam que a umidade ascensional é um dos tipos de manifestações de umidade mais difíceis de tratar. Por este motivo, diversas técnicas foram desenvolvidas a fim de solucionar este problema. Muitas pesquisas sobre o

¹ Paiva JV (1969) Humidade nas edificações (Dampness in buildings). Tese apresentada a concurso para Especialista do LNEC. Lisboa, LNEC.

²Massari G, Massari I (1993) Damp Buildings - Old and New. ICCROM, Rome. ISBN 92-9077-111-9.

tratamento de ventilação da base das paredes foram encontradas na bibliografia, como as de Torres (2014), Silva (2012), Teixeira (2007) e Torres (2007), que estudaram principalmente em países onde as edificações históricas são abundantes. No entanto é uma técnica com algumas limitações, como por exemplo, a necessidade de abertura do terreno ao redor da edificação, ou ainda a abertura do piso, necessitando um grande desprendimento de espaço e volume para a execução. Assim num edifício existente, inserido em áreas densamente urbanizadas, dificilmente empregariam esta técnica.

Desta forma, é de grande importância o domínio de uma técnica com maior versatilidade. Dentro deste contexto, o estudo barreiras impermeáveis para extinguir o contato da água com a parede é fundamental.

Entre as barreiras impermeáveis encontram-se as físicas e as químicas, que serão melhores explicadas na revisão bibliográfica deste trabalho. As barreiras físicas apresentam eficiência porém tem como o inconveniente alterar o aspecto da fachada da parede tratada. Além disso, causam vibrações indesejadas no momento da execução que podem causar danos estruturais. As barreiras químicas além de apresentarem eficiência, são mais discretas e não causam estas vibrações (Freitas, Torres e Guimarães 2008).

Assim, esta pesquisa pretende contribuir para o avanço do conhecimento a respeito da técnica de inserção de barreira química por g, testando a eficácia dos produtos cristalizantes nacionais disponíveis no mercado.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Dal Molin (1988), com base em dados de relatórios e vistorias técnicas realizadas pela Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) no Rio Grande do Sul, apontou a umidade como a segunda manifestação patológica encontrada com mais frequência nas edificações estudadas. Na época, entre as causas de umidade, a ascensional era responsável por 8,9% da incidência de umidade nas edificações. Terra (2001) identificou os principais tipos de problemas encontrados nas fachadas das edificações da cidade de Pelotas (RS). Os resultados apontaram que, a segunda manifestação

patológica mais encontrada foi a umidade ascensional, com 17,2%, perdendo somente para as manchas de sujeira ou vegetação parasitária com 19,3%.

A umidade ascensional está relacionada ao desempenho das paredes das edificações. E ao longo do tempo há a degradação progressiva das paredes, podendo deixar de cumprir funções de proteção e acabamento, por exemplo. Avaliar os métodos de reparação das paredes afetadas tem sido um problema de difícil resolução (SILVA, 2012).

Recentemente entrou em vigor NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) que visa garantir o desempenho das edificações habitacionais. É nítida a preocupação da comunidade da construção civil em garantir que as edificações tenham um mínimo de qualidade e um bom desempenho. Desta forma, tratamentos que venham a sanar possíveis falhas de execução vão ao encontro do pensamento em prol do desempenho das edificações.

Para sanar os problemas de umidade ascensional em uma edificação, que afeta o desempenho da mesma, existem diversos tratamentos, entre estes estão as barreiras químicas. Estas barreiras químicas são executadas através da inserção de produtos químicos nas paredes que podem ser por pressão (injeção com um equipamento específico) ou por gravidade, também denominada por alguns autores como Freitas, Torres e Guimarães (2008) de aplicação por difusão. Esta última não necessita de equipamentos especiais, apenas de aparatos como funis, para a colocação dos produtos no interior da parede. No decorrer deste trabalho são explicadas estas duas formas de aplicação mais detalhadamente.

A opção pelo estudo do tratamento de paredes com umidade ascensional com barreira química por gravidade foi devido a esta técnica ser de fácil execução e bastante versátil, no entanto sua eficácia depende do sistema: produtos químicos disponíveis no mercado e a forma como são aplicados. Até o início desta pesquisa, estes sistemas ainda não haviam sido estudados. A técnica de barreira química também possui algumas limitações, que serão explicadas posteriormente, mas de uma forma geral apresentou bons resultados nos estudos encontrados como o realizado por Freitas, Torres e Guimarães(2008). A intenção desta pesquisa é verificar se produtos disponíveis no mercado nacional para esta finalidade estão apresentando o desempenho esperado.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação da eficiência de diferentes produtos, aplicados conforme as recomendações de seus respectivos fabricantes, nos tratamentos de paredes com umidade ascensional pelo corte hídrico pela técnica por gravidade, disponibilizados no mercado nacional.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- a) analisar estatisticamente a redução da absorção de água pelos corpos de prova;
- b) analisar a umidade que permanecerá nos corpos de prova após tratamentos;
- c) analisar qual o melhor tratamento do ponto de vista econômico.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

O primeiro capítulo desta dissertação apresenta o contexto, justificativa objetivos e estrutura da pesquisa.

Na sequência, o segundo capítulo esclarece o que é a umidade ascensional. Neste momento são abordadas suas características, mecanismos de ocorrência, a influência de sais na ascensão da água e métodos de diagnósticos desta umidade.

No terceiro capítulo são apresentados os tratamentos para paredes com umidade ascensional existente. Aqueles que impedem o acesso da água nas paredes, os que impedem a ascensão da água, os destinados a retirar a água das paredes e ainda as formas de ocultar as anomalias causadas pela umidade ascensional.

O quarto capítulo exhibe o programa experimental, que compreende as características dos materiais utilizados nos corpos de prova dos ensaios, bem como os procedimentos de ensaio, os métodos e equipamentos utilizados para a avaliação dos produtos experimentados.

O quinto capítulo apresenta os resultados dos ensaios e uma discussão a respeito dos mesmos. Na sequência, o sexto capítulo apresenta as considerações finais, junto as conclusões e sugestões de futuras pesquisas.

2 A UMIDADE ASCENSIONAL

Guimarães et al. (2015) afirmam que entre os principais problemas da construção civil que estão associados com o uso de materiais porosos está a umidade ascensional. Este tipo de umidade, por si só, causa danos como a redução do valor estético do edifício no momento em que provoca manchas na fachada em áreas próximas ao solo. Quando associada a outros agentes pode causar outros danos, como eflorescência e biodegradação.

A umidade ascensional é definida por Alfano et al. (2006) como um fluxo de água no sentido vertical direcionado para cima em uma parede permeável. Freitas, Torres e Guimarães (2008) afirmam que a água ascende quando não há barreiras que inibam a migração da umidade proveniente do solo através das paredes, constituídas de materiais porosos. Essa migração ocorre por capilaridade e pode causar danos à edificação

Alfano et al. (2006) afirma que este tipo de umidade é uma das principais causas da deterioração dos materiais de alvenaria e, quando junto à altas concentrações de sal, pode causar desgastes nas partes inferiores das paredes, necessitando de reparações difíceis e de alto custo. I'Anson e Hoff (1986) esclarecem que a água do solo, em algumas situações, contém quantidades consideráveis de sais dissolvidos que podem produzir eflorescência nas paredes entre outras manifestações.

Alguns fatores condicionam a umidade ascensional, entre eles estão as condições climáticas e os materiais constituintes da parede. Estas envolvem a umidade relativa e a temperatura, a insolação, a espessura da parede, a natureza e as características dos materiais que a constituem.

Em locais com a umidade relativa baixa, a evaporação ocorre de forma mais rápida, já quando a umidade relativa é alta o processo é mais lento e favorece o avanço da frente úmida. A insolação e o coeficiente de absorção da radiação também influenciam o processo de secagem da parede. Ambos alteram a temperatura superficial e a distribuição da temperatura. Esta influência é percebida em edificações que possuem paredes idênticas com orientações geográficas distintas. Cada parede possui uma incidência solar e uma ventilação, o que causa diferença na progressão da umidade (SILVA, 2013).

Este capítulo procura esclarecer as características e fontes da umidade ascensional, o que ocorre com os materiais e quais características que influenciam no transporte da umidade. Além disso, são abordados os mecanismos de umidade (principalmente a capilaridade que é o principal mecanismo da umidade ascensional) e os tratamentos de paredes com umidade ascensional.

2.1 CARACTERIZAÇÃO E FONTES DA UMIDADE ASCENSIONAL

Diversas edificações são afetadas pela umidade que provém do solo e que ascende por capilaridade. A umidade ascensional não depende muito de mudanças térmicas sazonais e o teor de umidade diminui com a altura, produzindo uma fronteira característica horizontal (GRINZATO; BISON; MARINETTI, 2002).

A umidade ascensional ocorre em uma parede quando a impermeabilização foi mal executada, quando a vida útil dos materiais utilizados chegou ao fim ou ainda quando não houve impermeabilização. Em especial, percebe-se que existe grande incidência de umidade ascensional em edificações históricas, quando há muito tempo foi executada e a impermeabilização não desempenha mais a sua função (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008).

Conforme Freitas, Torres e Guimarães (2008), este tipo de umidade possui duas fontes de alimentação de água, as águas freáticas e as águas superficiais, conforme ilustrado na Figura 1. A parede pode estar em contato com águas freáticas, seja abaixo ou acima do nível freático, ou ainda em contato com águas superficiais (águas pluviais que escoam até encontrar sua superfície).

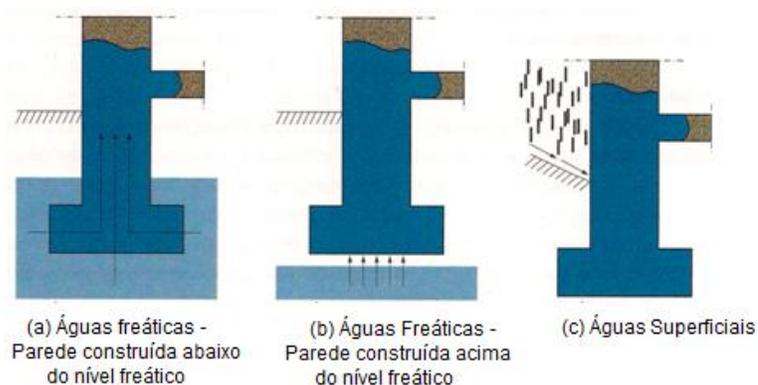


Figura 1—Representação esquemática da umidificação de uma parede por águas freáticas e superficiais. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães 2008.

Manifestações patológicas nas zonas das paredes junto ao solo geralmente são características da umidade ascensional, no entanto pode ocupar toda a altura da parede. Estas manifestações patológicas podem apresentar-se como: manchamentos, bolores, vegetação, eflorescências e/ou ainda criptoflorescências (HENRIQUES, 2007).

O teor de umidade presente em paredes é diferente conforme a situação de exposição e fonte de umidade. Quando se trata de umidade proveniente de águas superficiais, Henriques (2007) e Freitas, Torres e Guimarães (2008) afirmam que o fornecimento de água é variável, bem como a altura da zona umedecida, e os teores de umidade são maiores nas paredes externas.

Quando a alimentação de água é proveniente de águas freáticas, que tendem a ser constante podemos ter duas situações: paredes enterradas e paredes não enterradas. No primeiro caso, ao longo das diferentes estações do ano, o umedecimento normalmente manifesta-se em toda a altura da parede. O teor de umidade é maior na face em contato com o solo e reduz gradualmente em direção à superfície oposta da parede. Ressalta-se que, em paredes enterradas, há diferença quando a umidade provém do lençol freático ou de águas superficiais, como mostra a Figura 2 (HENRIQUES, 2007).

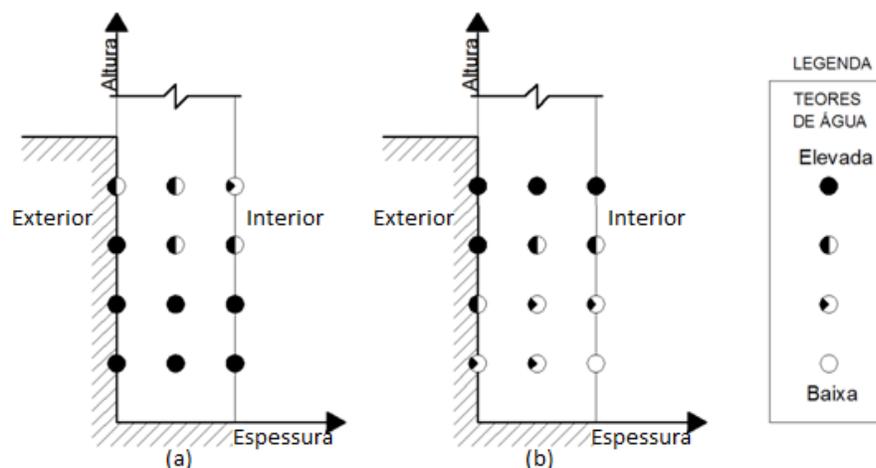


Figura 2 - Variações típicas dos teores de umidade ascensional de paredes exteriores enterradas, em função da altura e da profundidade das sondagens. (a) umidade proveniente do lençol freático; (b) umidade proveniente de águas superficiais do terreno. Adaptado de Henriques, (2007).

Na segunda situação, das paredes não enterradas, a altura da zona umedecida geralmente é constante, percebendo-se um pequeno aumento de umidade no interior da parede quando comparado às superfícies, conforme pode ser visto na Figura 3 (HENRIQUES, 2007).

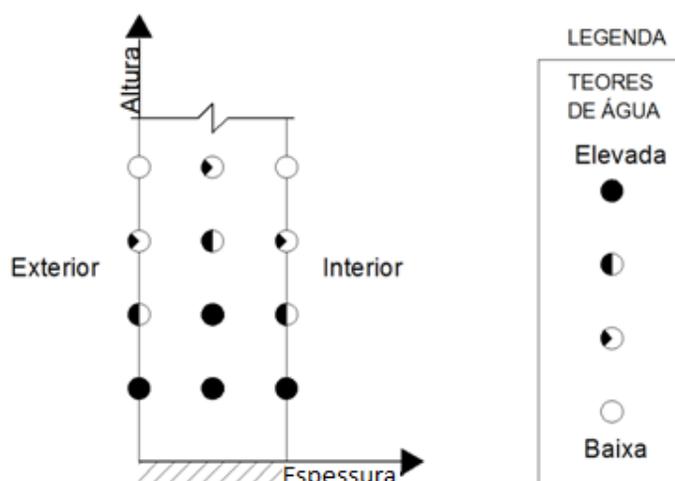


Figura 3 - Variações típicas dos teores de umidade ascensional de paredes exteriores não enterradas, em função da altura e da profundidade das sondagens. Adaptado de Henriques, 1995.

Alfano et al. (2006) explica que a na base da parede chega a ter de 20 a 30% do conteúdo de água que declina lentamente conforme aumenta a altura. Entretanto, decorrente das diferentes condições de exposição pode verificar-se um comportamento um pouco distinto. Os fatores que interferem no transporte de água nos materiais de construção e na altura atingida pela umidade ascensional serão explicados a seguir.

2.2 TRANSPORTE DE UMIDADE NOS POROS E CAPILARES

A porosidade, conforme Bertolini (2010), é o volume de vazios de um material. Freitas, Torres e Guimarães(2008) apresentam a classificação de porosidade aberta e a fechada, como pode ser visto na Figura 4. A porosidade aberta é aquela onde os poros estão interligados por canais, já os com a porosidade fechada os poros não possuem comunicação, e estes são considerados materiais impermeáveis. Cardeira (2010) diz que a maioria dos materiais de construção são porosos e que nos materiais com porosidade aberta a água pode migrar sob a forma de líquido ou vapor na rede interna formada. Entre estes materiais estão a argamassas, tijolo cerâmico e a rochas, muito utilizados para a construção de paredes.

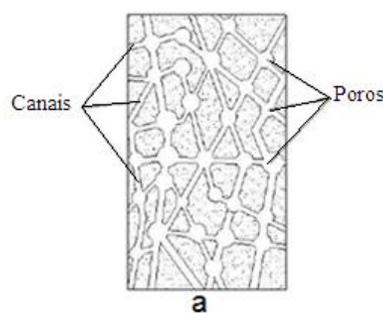


Figura 4 – Tipos de Porosidade. (a) aberta e (b) fechada. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães2008.

Há divergência entre autores sobre classificação dos poros. Alguns classificam os poros de acordo com a dimensão. Hilbert et al. (1992)³ apud Gonçalves (2007) além da dimensão comentam sobre a influência do tamanho dos poros no transporte da umidade. O Quadro 1 aponta a definição dos autores quanto à classificação dos poros dos materiais de construção:

Autor	Classificação	Dimensão	Influência no transporte da umidade
Hilbert et al. (1992) apud Gonçalves (2007)	Microporos	$r < 0,1 \mu\text{m}$	Não tem influência sobre o transporte de umidade, devido as grandes forças capilares que não permitem a movimentação da água.
	Mesoporos	$0,1 \mu\text{m} < r < 30 \mu\text{m}$	A água na forma líquida migra por capilaridade e ainda é possível o transporte de vapor.
	Macroporos	$r > 30 \mu\text{m}$	Devidos as forças capilares serem fracas, o transporte de líquido nestes poros são poucos significativos, no entanto o transporte de vapor é bastante relevante.
Carasek (1996)	Microporos	$\phi < 0,1 \mu\text{m}$	
	Poros Capilares	$0,1 \mu\text{m} < \phi < 20 \mu\text{m}$	
	Macroporos	$\phi > 20 \mu\text{m}$	
Aires Barros (2001)	Microporos	$\phi_m \approx 2 \mu\text{m}$	
	Poros intermediários	$2 < \phi_m < 20 \mu\text{m}$	
	Macroporos	$\phi_m > 20 \mu\text{m}$	
Mehta e Monteiro (2008)	Microporos	menores que $50 \mu\text{m}$	
	Macroporos	maiores que $50 \mu\text{m}$	

Quadro 1 - Classificação dos poros dos materiais de construção.

³ Hilbert G, Müller-Rochholz J, Zinsmeister K (1992) Salzeinlagerung in Sanierputze. Teil 2: Salzeinlagerungsverhalten - Schlussfolgerungen für die Praxis (Salt deposits in restoration plasters and renders. Part 2: deposition of salt), Bautenschutz & Bausanierung 15, 78-80.

Carrió (2010) comenta sobre a influência do tamanho dos poros nas forças capilares. Segundo ele, em laboratório foram testadas três seções de tubos diferentes para entender esta influência. Em tubo de 1 mm de diâmetro a água subiu 15mm, outro de 0,01mm chegou a alcançar 15m e em um terceiro caso, de 0,0001mm a água poderia chegar a 150m de altura. Bertolini (2010) afirma que considerando um poro capilar único e retilíneo, e disposto na direção vertical, sem considerar a velocidade com que ocorre a elevação, a altura máxima atingida pela água pode ser estimada igualando a pressão da gravidade e a da ação capilar através da equação 1:

Equação 1

$$\delta \cdot g \cdot h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{r}$$

Onde δ é a densidade da água (kg/m^3), g é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$), h é a altura de equilíbrio e $P_g = \delta \cdot g \cdot h$. Substituindo temos a equação de Jurin (equação 2):

Equação 2

$$h_{\text{máx}} = \frac{2 \sigma \cdot \cos\theta}{r \cdot \delta \cdot g}$$

Ao considerar a velocidade com que a elevação ocorre, pode-se ter o exemplo na Figura 5, que apresenta a evolução no tempo em um capilar de raio $1\mu\text{m}$ e outro de $3\mu\text{m}$:

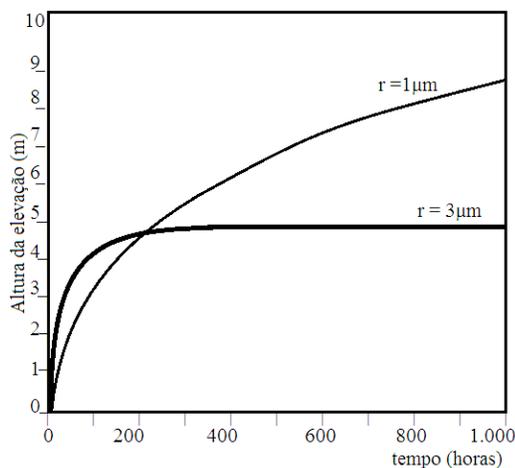


Figura 5 - Evolução da altura de elevação da água em relação ao tempo. Comparação de dois capilares com raios diferentes, dispostos verticalmente. Adaptado de Bertolini (2010).

Através da figura, percebe-se que em poros maiores, a velocidade de elevação é maior, no entanto, atinge menores alturas quando comparadas aos poros menores.

Quando observada a variedade das dimensões dos poros, com diferentes orientações e ângulos de interconexões, Bertolini (2010) resume algumas constatações a respeito da influência da dimensão dos poros na capilaridade, num mesmo ambiente úmido:

- para poros com dimensões entre $0,1\mu\text{m}$ e $1\mu\text{m}$, a altura atingida pela água pode variar dezenas de metros;
- a altura que a água atinge na ascensão capilar aumenta conforme a dimensão do poro diminui;
- conforme diminui a dimensão dos poros, diminui proporcionalmente a velocidade de elevação da água, assim para um determinado tempo, materiais com poros menores poderão atingir menores alturas que em outros de poros maiores.

Straube (2005) apresenta as três fases de armazenamento de água nos poros e capilares dos materiais (Figura 6).

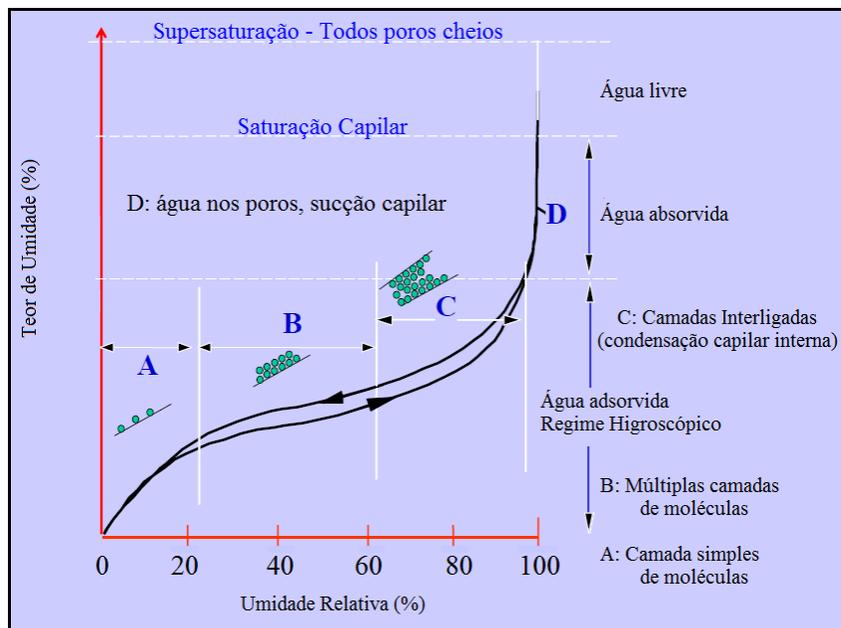


Figura 6 - Fases de armazenamento de água nos poros e capilares dos materiais. Adaptado de Straube, 2005.

Na primeira fase a água é adsorvida na superfície dos poros. Esta adsorção inicialmente ocorre com apenas uma camada de moléculas. Na sequência vão se formando múltiplas camadas e quando ocorre a interligação destas camadas considera-se uma nova. A segunda fase é de

absorção de água, ocorrendo a sucção capilar. E por último, quando ocorre a saturação de todos os poros, tem-se a terceira fase, a de água livre onde todos os poros encontram-se também saturados. Conforme Freitas, Torres e Guimarães (2008), a união das camadas plurimoleculares só ocorrerá quando o diâmetro dos poros for pequeno o suficiente.

Segundo Torres (1998), a higroscopicidade é a característica dos materiais de construção que irá fazer com que estes adsorvam mais ou menos água. Segundo Bories⁴ apud (FREITAS, 1992) o fenômeno ocorre devido às forças intermoleculares ou forças de Van der Waals que atuam na interface do líquido com o sólido.

Na interface entre o vazio e o material, é formada uma película de espessura bimolecular composta de moléculas de água tão fortemente vinculadas a superfície que assumem uma estrutura típica do estado sólido. Esta camada de água “sólida” é a condição necessária para que esta seja “molhável”(AIRES-BARROS, 2001).

Carrió (2010) considera que a umidade capilar é aquela que aparece nos fechamentos, tanto horizontais como verticais, como consequência da ascensão da água através de sua estrutura porosa. Ela consiste no movimento do fluido ao longo de um duto longitudinal por efeito da tensão superficial entre o líquido e a parede do material.

Quando um material poroso (porosidade aberta) é colocado em contato com a água ocorre a umidificação do material (dos grãos sólidos) por capilaridade, como mostra Figura 7. Esta umidificação forma interfaces curvas entre a água e o ar presente no interior dos poros. Este é o principal mecanismo da umidade ascensional (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008).

⁴ BORIES,S.-Analyse des mécanismes fondamentaux de transfert d'humidité dans les murs, "Environnement Microclimatique e Habitat", Société Française des Thermiciens, Reims, 21 - 23 Maio 1979.

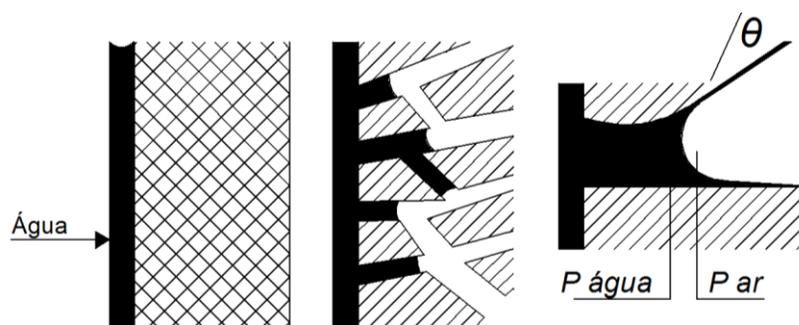


Figura 7 - O Fenômeno da capilaridade. Adaptado de Freitas et al. 2008.

Gratwick (1971) explica que um líquido tem a tendência de formar uma curva esférica a partir de reações intermoleculares que ocorrem entre as interfaces das superfícies dos corpos e recebe o nome de menisco, ilustrado na Figura 8. Ainda segundo o autor, uma gota, ao molhar um sólido numa superfície horizontal, se estenderá em todas as direções até o momento em que a tensão superficial entre em equilíbrio com a força gravitacional. Desta forma, a tensão superficial determina a forma da gota, se mais ou menos achatada.

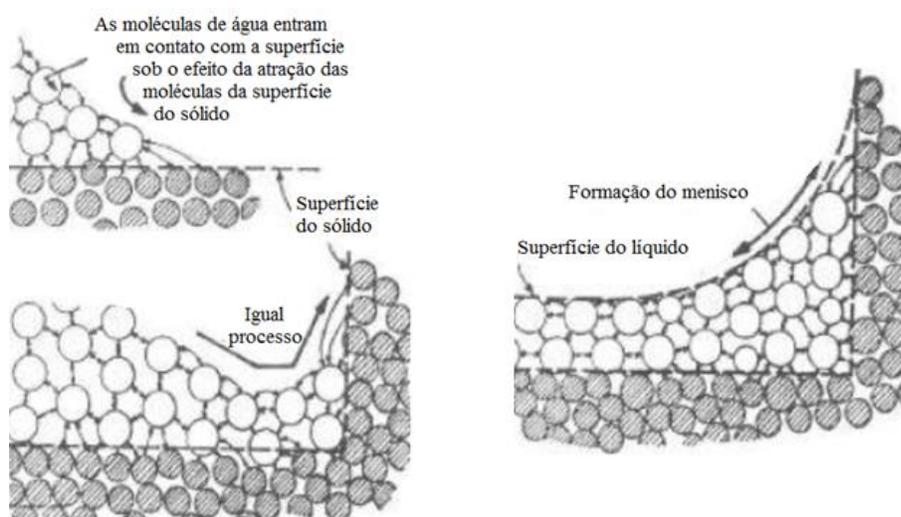


Figura 8 - Formação de menisco no movimento de um líquido sobre uma superfície sólida. Fonte: Gratwick (1971).

Conforme Bertolini (2010) quando a água entra em contato com o material de construção (poroso, com porosidade aberta), não saturado, e os poros são de pequenas dimensões, o líquido forma uma depressão que atrai a água para o interior do poro. Esta depressão é produzida pela ação capilar entre o líquido e a superfície dos poros, como mostra a Figura 9, o que permite a subida do líquido através do próprio material. De forma geral, os materiais de construção são

hidrófilos. A gota de água, quando em contato com a superfície destes materiais, tende a formar um ângulo agudo, assim, aumentando a superfície de contato com o material. Já em materiais hidrófugos, este ângulo é maior, diminuindo a área de superfície em contato com a gota.

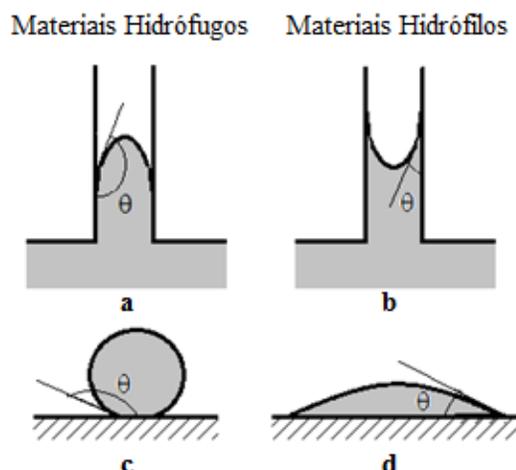


Figura 9–a) comportamento da água em um material hidrófugo; b) superfície de contato da gota d’água em uma superfície hidrófuga;c) comportamento da água em um material hidrófilo; d) superfície de contato da gota d’água em uma superfície hidrófilo. Adaptado de Bertolini (2010).

Quando ângulo de contato entre a água e uma superfície é inferior a 90 °, a água sobe até que a pressão capilar fique equilibrada pelo peso da coluna de água (GONÇALVES, 2007). Bertolini (2010) ainda apresenta a equação para calcular a pressão capilar. Esta é dada pela lei de Jurin que diz respeito a um capilar cilíndrico (equação 3).

Equação 3

$$P_c = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r}$$

Para esta equação entende-se por P_c (Pa) como a pressão capilar, σ (N/m) a tensão superficial do líquido, r (m) o raio do capilar e θ como o ângulo de contato entre a superfície líquida e a superfície sólida.

A sucção capilar produz um fluxo que percorre a parede inicialmente em forma líquida, logo em forma de vapor, buscando a evaporação nas zonas onde for possível. Neste percurso se estabelece um gradiente de teor de umidade, sendo os maiores teores nas proximidades das zonas de sucção. Desta pode-se identificar três zonas em um muro submetido à umidade ascensional. As zonas

saturadas são aquelas onde os poros se encontram totalmente cheios de água na forma líquida. As zonas molhadas contêm água líquida, água em vapor e ar no interior dos poros. Já as zonas úmidas são por onde circulam apenas água e vapor difundindo-se até o exterior (MORALES, 1998).

2.2.1 A ALTURA ATINGIDA PELA UMIDADE ASCENSIONAL

Alfano et al. (2006) explicam que a altura atingida pela água em paredes com umidade ascensional depende de diversos fatores e consideram os mais importantes a estrutura dos poros e a velocidade de evaporação. Conforme estes autores, pela lei de Jurin um raio de poro de 1 mm (comum em materiais de construção), a altura máxima deve ser de cerca de 15 m, no entanto, devido o processo de evaporação, que ocorre em paralelo, esta altura dificilmente ultrapassa uma média de 4 a 5m.

Santos (2012) explica que quando uma edificação é exposta à umidade de águas freáticas a mancha de umidade nas paredes internas atinge maiores alturas devido às condições de secagem menos favoráveis quando comparadas às paredes externas. Quando provinda das águas superficiais, as paredes internas estão mais protegidas desta fonte, assim as paredes externas atingem maiores alturas, como ilustrado na Figura 10.

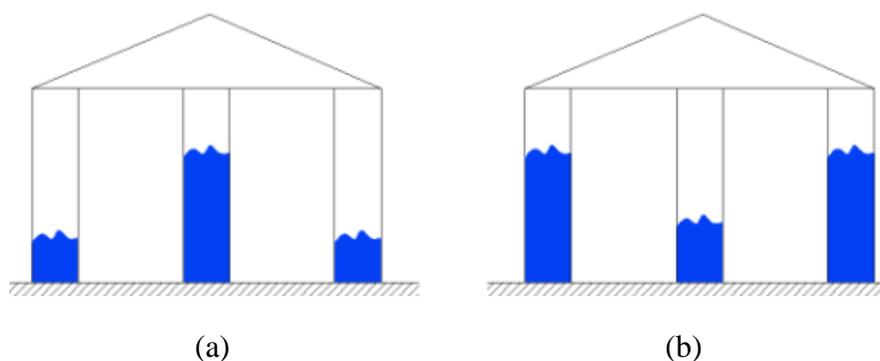


Figura 10 - Umidade ascensional. (a) em paredes interiores; (b) exteriores não enterradas. Fonte: Santos (SANTOS, 2012).

Mason 1974 percebeu que a linha que demarca altura atingida pela umidade ascensional podia sofrer variação conforme as estações do ano. Através desta observação e de outras análises concluiu que a ascensão da água por ação capilar pode ser equilibrado por evaporação e da umidade presente na parede. Conforme variam as condições de secagem das paredes, também

varia a altura atingida. Quando taxa de evaporação aumenta a altura área molhada diminui, já quando a taxa de evaporação diminui, a altura da área molhada aumenta.

Assim, Freitas, Torres e Guimarães(2008) afirmam que as alturas da zona umedecida são menores em paredes exteriores, pois possuem condições de secagem por evaporação mais favoráveis que as interiores. Henriques (2007) lembra que em paredes enterradas as zonas de umedecimento são maiores em paredes exteriores. Isso acontece porque não possuem as mesmas condições de secagem como nas não enterradas, e também por estarem mais próximas a fonte de umidade.

Rirsch e Zhang (2010) explicam que a altura atingida pela umidade tende a ser menor nos meses de verão onde a taxa de evaporação tende a aumentar (devido ao aumento de temperatura) e que em uma parede fina a altura da umidade também é menor. Conforme Morais (2011), isso ocorre porque para uma maior área de absorção há uma mesma área de evaporação. Este equilíbrio entre a ascensão da água e a evaporação através da superfície são ilustrados na Figura 11.

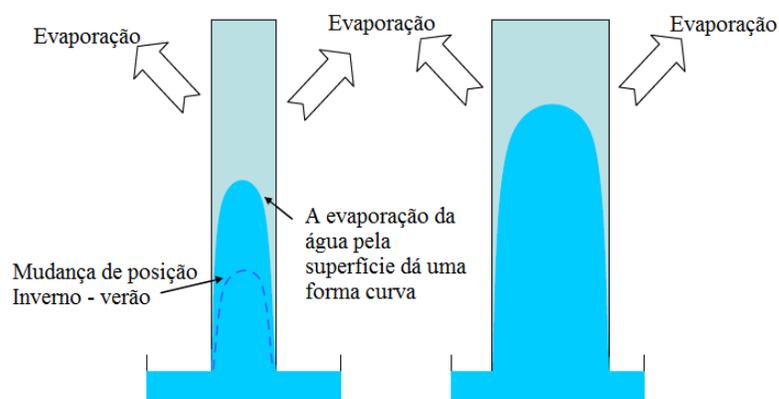


Figura 11 – Esquema de paredes com diferentes taxas de ascensão capilar, com mesmas condições de secagem. Adaptado de Rirsch e Zhang (2010).

Freitas, Torres e Guimarães (2008) simularam umidade ascensional, através do software Wu-Fi, em paredes executadas com materiais idênticos, num mesmo contexto, variando apenas a espessura. A Figura 12 mostra os resultados onde se percebe que quanto mais espessa é a parede, maior é a altura de ascensão da água.

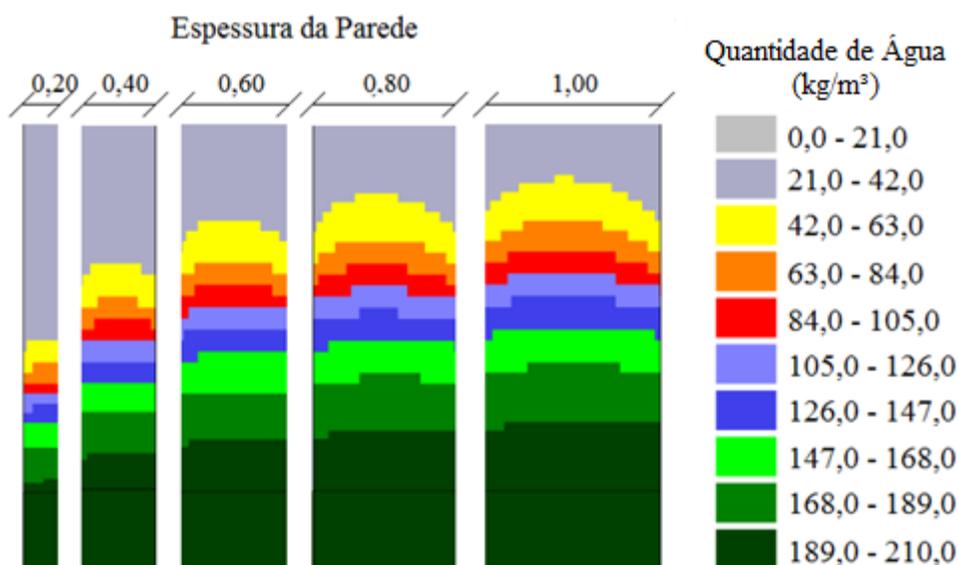


Figura 12 - Variação da altura atingida pela umidade ascensional, em função da espessura da parede. Adaptado de Freitas, Torres e Guimarães, 2008.

Gonçalves (2007) ainda observa que quando paredes úmidas são repetidamente pintadas podem reduzir ainda mais a taxa de evaporação e, desta forma, a área de superfície danificada é progressivamente alargada. Freitas, Torres e Guimarães (2008) afirmam que, de modo geral, impermeabilizar uma parede aumenta o nível de umidade ascensional, como demonstraram em um estudo sobre o nível atingido pela umidade em cinco diferentes situações. A Figura 13 ilustra a simulação, também através do software Wu-Fi, da umidade ascensional em paredes idênticas, variando, agora, apenas os revestimentos superficiais. Percebe-se a que, quanto menor a permeabilidade da superfície, maior é a altura atingida pela umidade. Paredes menos permeáveis, com placas cerâmicas em uma das superfícies, ocorreram maiores alturas de umidade nesta superfície, mesmo quando este revestimento for colocado de forma parcial.

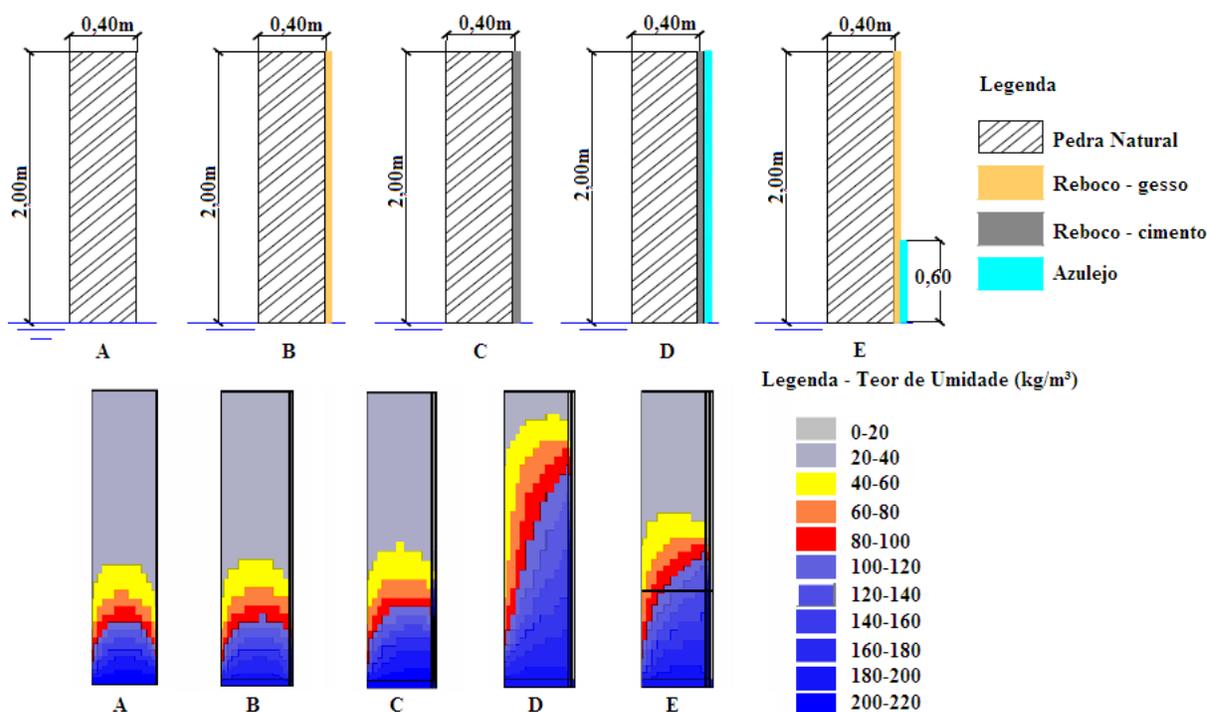


Figura 13 - Influência da impermeabilização na ascensão da umidade na parede. (A) Parede monolítica de pedra com 0,40 m sem revestimento; (B) Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco a base de gesso em uma das faces; (C) Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco a base de ligantes hidráulicos em uma das faces; (D) Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco a base de ligantes hidráulicos, em uma das faces, associada a azulejo; (E) Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco a base de gesso em uma das faces, associada a 60 cm de azulejo. Adaptado de Freitas, Torres e Guimarães, 2008.

Rirsch e Zhang (2010) estudaram a importância de propriedades das argamassas na ascensão capilar em paredes de alvenaria. Os resultados apontaram que a permeabilidade da argamassa é relevante no controle da ascensão de água e na evaporação. A argamassa de alta permeabilidade apresentou, nas primeiras fiadas de tijolos, de 15 a 20 % do peso de umidade enquanto que uma argamassa de baixa de 1 a 3%.

2.3 A INFLUÊNCIA DOS SAIS NA OCORRÊNCIA DA UMIDADE ASCENSIONAL

No momento em que ocorre a ascensão da água nas paredes, os sais podem potencializar esta ascensão. Alfano et al. (2006) explicam que sais solúveis (principalmente os cloretos, nitratos, sulfatos) estão presentes na água e que estes sais migram junto à água para a parede e ficam nela depositados após a água evaporar. Logo, estes sais se acumulam na altura máxima de ascensão

d'água depois de muitos anos de ocorrência desta umidade. Por terem características higroscópicas, estes sais ainda potencializarão a absorção de umidade do ambiente.

Quando a concentração de sais é maior na parede que no solo ocorre a pressão osmótica, que atrai a água para o meio onde há maior concentração de soluto. Dessa forma, intensificando a ascensão de água (DEPARTAMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES, 2008).

Tanto em edificações antigas como nas mais modernas pode ocorrer a cristalização de sais a partir de soluções aquosas (RODRIGUEZ; GONÇALVES, 2007). Esta cristalização pode ocorrer na superfície do revestimento (eflorescência) ou sob o revestimento (criptoflorescência) e é uma das principais causas da degradação de materiais como o tijolo. Os poros do material sofrem pressão devido ao transporte de sais, que aumentam de volume quando cristalizam-se e este é o motivo da degradação do material (SILVA, 2013).

A Figura 14 e a Figura 15 mostram dois casos de cristalização de sais ao longo de uma faixa mais ou menos regular em uma região próxima ao solo, o que aponta como uma provável causa à umidade ascensional.



Figura 14 – Capel Mor da Igreja de São Francisco, com formação de sais da zona limite da pintura e marcas da umidade ascensional. Fonte: Caetano, (2007).



Figura 15 - Eflorescência distribuída na parede de forma generalizada ao longo de uma faixa regular próxima ao solo, indicando a provável existência de umidade ascensional. Fonte: Rodrigues e Gonçalves, 2007.

Segundo Aires-Barros (2001), os carbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos e oxalatos são as principais constituições químicas dos sais causadores de eflorescência e criptoflorescência. Destes, Gonçalves, Rodrigues e Rooij (2007) apontam o cloreto de sódio e álcali-carbonatos como os sais mais envolvidos nos fenômenos de degradação, assim como o sulfato, no entanto este em menor proporção. Estes autores explicam que o cloreto de sódio presente em muitos rios é transportado para a edificação através da capilaridade, pela umidade ascensional.

O microclima condiciona a atividade dos sais solúveis que se concentram e acumulam sempre que a água evapora ou ainda quando diminui a umidade relativa da atmosfera onde está localizado. Com as oscilações da umidade e temperatura do ar alguns sais dissolvem-se e cristalizam periodicamente. Estes ciclos de cristalização e dissolução geram pressões sobre as paredes dos poros, alterando o material. Esta pressão depende da temperatura e grau de sobressaturação da solução. Quando ocorre a cristalização ou hidratação nos poros o sal expande, e assim, podem romper a estrutura interna e provocar a pulverização e perdas superficiais (AIRES-BARROS, 2001).

Sais menos solúveis e higroscópicos, como sulfatos e carbonatos, acabam se instalando em zonas mais baixas, já os mais solúveis e higroscópicos, como cloretos e nitratos, atingem níveis mais elevados, como mostra a Figura 16 (AIRES-BARROS, 2001).

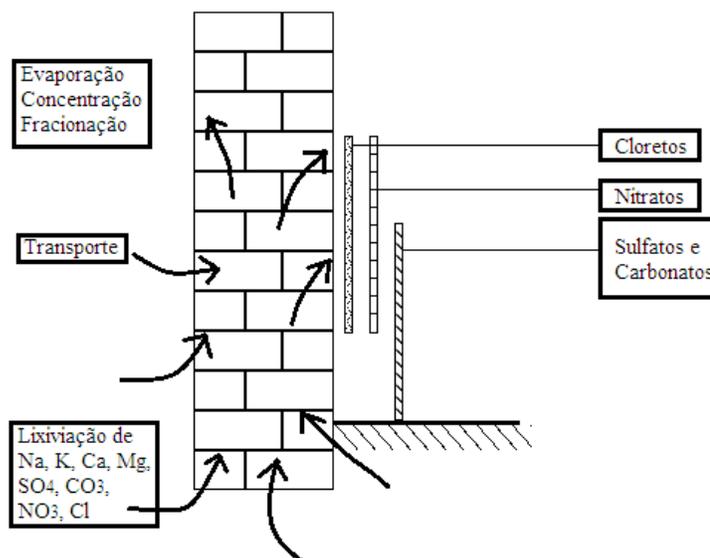


Figura 16 - Distribuição das soluções salinas mais comuns em uma parede com umidade ascendente. Adaptado de Aires Barros (2001).

Marreiros (2007) recomenda que, a fim evitar problema de cristalização de sais na edificação é necessário proteger esta da água, evitando sua entrada e facilitando sua saída. Entre as medidas de prevenção está a preocupação com as fundações, para que não sejam um veículo de transmissão da água do solo para as paredes e o cuidado com o sistema de drenagem, para que estejam em boas condições de conservação, garantindo o escoamento.

3 DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE UMIDADE ASCENSIONAL EM PAREDES

Para o tratamento de qualquer manifestação patológica, é fundamental um bom diagnóstico. Após diagnosticar a umidade ascensional, deve-se optar pelo tratamento mais adequado de acordo com os condicionantes como o entorno da edificação, o revestimento das paredes a serem tratados, os impactos que o tratamento pode causar, entre outros.

3.1 DIAGNÓSTICO

Henriques (2007) apresenta um método de diagnóstico de umidade em paredes. Este é constituído das seguintes etapas:

- a) análise documental;
- b) observação visual das anomalias;
- c) análise não destrutiva;
- d) análise destrutiva; e
- e) compilação e análise dos dados obtidos.

Na compilação de dados são consideradas e analisadas todas as etapas citadas. É necessário compreender rigorosamente a natureza dos fenômenos que constituam as causas das anomalias, pois algumas podem ser consequências de outras (HENRIQUES, 2007). Caso diagnosticada a umidade ascensional, através das características exemplificadas no item 2.1 deste documento, deve-se adotar a estratégia mais adequada entre os tratamentos existentes. Estes são explicados no próximo capítulo.

A umidade, como já mencionado, pode se manifestar de diferentes formas, e diferenciar a fonte de água é importante para a recomendação do tratamento correto. Para diferenciar a umidade ascensional da umidade por infiltração, Carrió (2010) recomenda que seja observado através de, por exemplo, um orifício na parede, se a umidade é superficial ou se migra do interior e percorre até a superfície. Quando a umidade vier do interior até a superfície, será provavelmente uma

umidade proveniente do terreno. Ainda afirma que quando a umidade ascensional conduz sais às paredes, pode acontecer junto à umidade por condensação.

3.1.1 ANÁLISE NÃO DESTRUTIVA

Aires Barros (2001) lista as análises não destrutivas, incluindo a observação visual como uma delas, por ele chamada de exame macroscópico. A seguir os principais métodos listados pelo autor e a Figura 17, que apresenta um levantamento não destrutivo:

- a) Exame macroscópico;
- b) Análise fotográfica;
- c) Análise de imagem;
- d) Fotogrametria;
- e) Termografia;
- f) Determinações ultrassônicas.



Figura 17 - Levantamento não destrutivo realizado no edifício do Salão de Atos da UFRGS: (a) imagem digital do da vistoria realizada, (b) mapeamento de danos. Adaptado Rubin et al. (2014).

Entre estas análises, o programa experimental, posteriormente detalhado, utilizará a termografia entre suas análises. Assim, este método será explicado a seguir.

a) Termografia

A termografia é uma técnica não destrutiva com diversas aplicações. Pode ser utilizada na forma passiva ou ativa. Na construção civil, costuma-se utilizar a forma passiva, onde se observa um material analisando-o qualitativamente, investigando possíveis anomalias. Quando utilizada na forma ativa, há necessidade de uma fonte de excitação (como aquecimento) onde se pode obter resultados quantitativos. As propriedades e características dos materiais devem ser conhecidas nas investigações. Materiais com maiores porosidades podem diminuir a condutividade térmica e densidade e, desta forma, fazer com que a condução de calor dentro do material altere (AVDELIDIS; MOROPOULOU, 2003).

As imagens térmicas das superfícies permitem verificar a distribuição das temperaturas de um objeto. A câmera termográfica permite conhecer a temperatura exata num determinado ponto e, desta forma, efetuar diversas análises sobre a imagem (BARREIRA, 2004). Bauer e Leal (2013) ainda afirmam que uma grande vantagem da câmera termográfica é a agilidade da apresentação dos resultados.

Para o mapeamento de umidade em edificações, o uso da termografia tem se apresentado como uma boa alternativa. Grinzato, Bison e Marinetti (2002) indicam alguns cuidados ao se utilizar o equipamento. Ao realizar as imagens, deve-se procurar obter a maior perpendicularidade possível entre a câmera e a superfície, além disso, é necessário registrar o local onde as imagens foram realizadas para cada campo de visão.

Quando submetidas às mesmas condições, as áreas úmidas são mais frias que as áreas secas. Saber a localização da umidade e suas variações no tempo colabora no diagnóstico da origem da água (GRINZATO; BISON; MARINETTI, 2002). Com as imagens proporcionadas pela câmera termográfica consegue-se localizar as áreas mais frias. Geralmente utiliza-se uma escala de cores onde as áreas mais escuras são as áreas mais frias, e assim, com maiores teores de umidade. Rirsch e Zhang (2010) afirmam que paredes tratadas com sucesso contra a umidade ascensional são mais quentes, provavelmente pela redução do arrefecimento a partir de evaporação.

Obstáculos entre a edificação e a termocâmera, manchamentos produzidos por sombreamentos de edificações ou arborizações próximas e sujidade podem impedir ou dificultar as análises e visualização do que está sendo investigado (BAUER; LEAL, 2013). Bauer e Leal (2013)

recomendam que as imagens em fachadas sejam feitas no início da manhã ou começo da noite, momentos em que há pouca radiação solar e a temperatura exterior é mais baixa, assim sendo estes os períodos preferenciais do dia para realização da técnica termográfica.

Gonçalves (2011) acredita que, atualmente, na construção civil a termografia desempenha um papel importante no momento em que é um meio de localização de fugas caloríferas e umidades, como vemos na Figura 18.

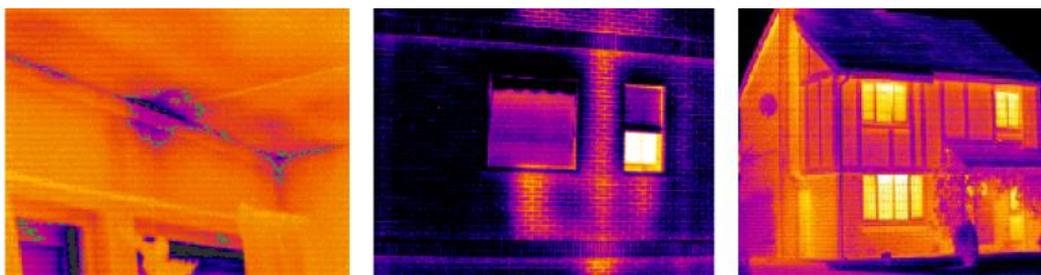


Figura 18 –Aplicação de termografia na construção civil. Localização de áreas úmidas e fugas caloríficas.

A termografia ainda pode ser utilizada para a identificação de estruturas ocultas, como na Figura 19, fissuras no revestimento de argamassa (não visíveis a olho nu) e ainda vazamentos em lajes, como pode ser visto na Figura 20.

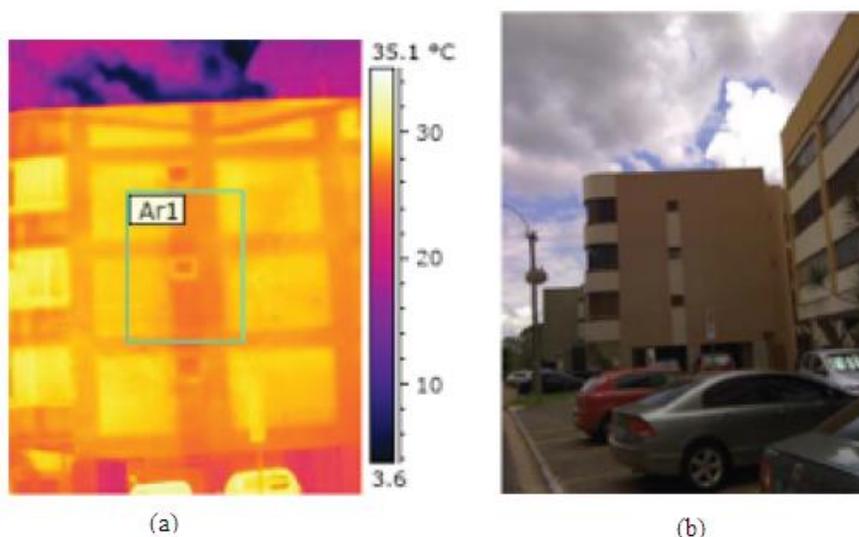


Figura 19 - (a) Imagem termográfica. (b) Imagem digital. Identificação da estrutura oculta na fachada de um edifício em Brasília, DF. Fonte: Bauer e Leal (2013).

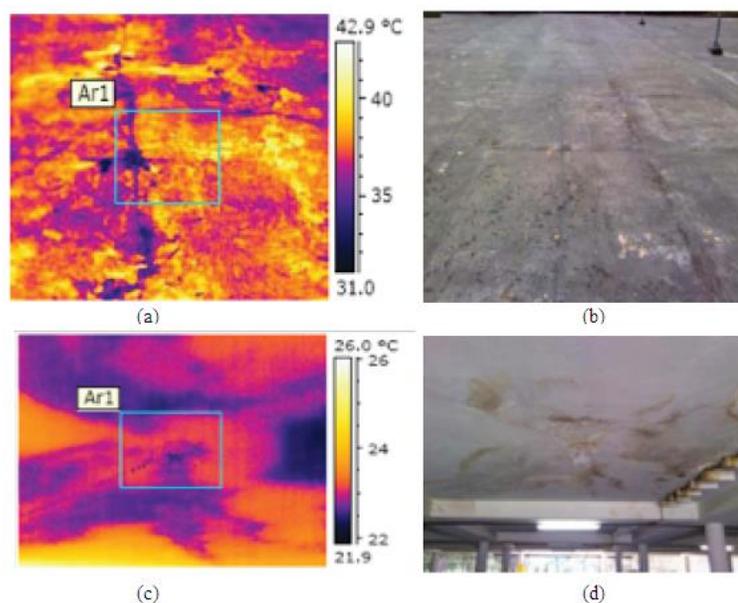


Figura 20 - (a) Imagem termográfica da parte superior da laje. (b) Imagem digital da parte superior da laje. (c) Imagem termográfica da parte inferior da laje. (d) Imagem digital da parte inferior da laje. As áreas em tons azuis são os locais de infiltração. Fonte: Bauer e Leal (2013).

Para a presente pesquisa, utilizou-se a câmera FLIR T400 que exige a inserção de alguns parâmetros para fornecer os resultados corretamente. Estes parâmetros devem ser inseridos no momento de captação da imagem, no entanto, podem ser alterados na análise da imagem através do software FLIR QuickReport 1.2, fornecido pelo fabricante. Nele, além dos parâmetros, é possível alterar a escala de cores, a paleta de cores, determinar isolinhas (mesma temperatura) e ainda exportar a imagem, ou parte dela, para o Excel, onde em cada cédula haverá a temperatura de cada pixel correspondente. Através do Excel pode-se quantificar o número de pixels no intervalo demarcado por uma isotérmica, por exemplo.

3.1.2 ANÁLISE DESTRUTIVA

Carrió (2010) recomenda que, para diferenciar a umidade ascensional da umidade por infiltração, seja feito um orifício na parede e observado se a umidade é superficial ou se migra do interior e percorre até a superfície. Se a umidade vier do interior até a superfície, será provavelmente uma umidade proveniente do terreno.

Existem diversas técnicas destrutivas para a análise das manifestações patológicas, como termogravimetria, difratogrametria de raio x, cromatografia iônica, entre outras. Estas análises

são realizadas após a determinação das zonas de interesse. Apesar de existirem diversas técnicas, aqui será descrito um método bastante indicado para análise de teor de umidade em paredes, o método gravimétrico, também conhecido como ponderal.

Após definidas as áreas de interesse (a serem investigadas) coleta-se amostras do local. Bertolini (2010) recomenda que no ato da coleta devem-se utilizar extratores de baixo número de giros para evitar o desenvolvimento de calor e assim correndo o risco de perder água por evaporação. Ao coletar a amostra, esta deve ser colocada e conservada em um recipiente hermeticamente fechado.

As amostras coletadas devem ser levadas ao laboratório e pesadas em uma balança de precisão. Após a pesagem das amostras devem ser levadas à estufa (cerca de 105°C) até a constância de massa. A temperatura de secagem em estufa deve ser escolhida conforme o tipo de material, no caso de gesso, por exemplo, a temperatura deve ser aproximadamente 40°. Após secas, as amostras devem ser novamente pesadas. A diferença de massa da amostra coletada (úmida) e da amostra após seca em estufa à 105°C (massa seca) será a quantidade de água da amostra coletada in situ. (CARVALHO, 2010).

Henriques (2007) considera que a vantagem deste método é a precisão do ensaio e a possibilidade de utilizar as mesmas amostras para outros ensaios como a presença de sais solúveis. No entanto, seu inconveniente é a lentidão no processo, além dos custos, já que necessita de aparelhagem de laboratório e desta forma não há como obter os resultados in situ.

3.2 TRATAMENTOS DE PAREDES COM UMIDADE ASCENSIONAL

Após diagnosticada a umidade ascensional, segue-se para a escolha do tratamento adequado, conforme os condicionantes locais. Todas as técnicas possuem limitações, portanto é necessário entender um pouco sobre cada um dos tipos de tratamento existentes para que, no momento em que se fizer necessário, se tome a decisão pelo método mais eficaz para solucionar os problemas. Henriques (2007) dividiu as soluções para problemas provocados por umidade do terreno em quatro grandes grupos:

- a) Destinadas à impedir o acesso da água às paredes;
- b) Destinadas à impedir a ascensão da água nas paredes;
- c) Destinadas à retirar a água em excesso das paredes;
- d) Destinadas à ocultar as manifestações patológicas.

A seguir serão explicadas algumas técnicas mais conhecidas para o tratamento de paredes com problemas de umidade ascensional utilizando esta divisão metodológica apresentada por Henriques (2007).

3.2.1 TÉCNICAS DESTINADAS A IMPEDIR O ACESSO DA ÁGUA ÀS PAREDES

Em algumas paredes, o problema da umidade ascensional surge devido a fatores não generalizados, como por exemplo, a presença de um coletor próximo. Nestes casos, pode-se solucionar através da secagem deste (HENRIQUES, 2007).

Quando a fonte é generalizada, deve-se investigar se esta é superficial ou freática. No primeiro caso pode-se avaliar se a parede úmida é adjacente a terrenos em declive, pois neste caso as águas pluviais podem ser conduzidas em direção à parede. Para impedir que a parede absorva esta umidade pode-se tratar o terreno com correção de declive, criação de valas drenantes ou ainda com a criação de zona drenante superficial (HENRIQUES, 2007).

Existem ainda outras soluções mais complexas que serão expostas a seguir.

a) Drenagem do Terreno

A drenagem é destinada a coletar as águas superficiais em terrenos com baixa permeabilidade conduzindo-as ao sistema de esgoto pluvial. Pode ser efetuada através de uma rede de tubos porosos (espaçados de forma estratégica), de forma que as águas sejam recolhidas e conduzidas a um sistema de esgoto pluvial.

b) Execução de valas periféricas

A construção de valas periféricas é adotada tipicamente como uma medida preventiva e não uma solução de um problema existente de umidade ascensional. No caso de restauro, muitas vezes esta técnica pode ser de difícil adaptação e execução na reabilitação.

Basicamente, as valas podem ser classificadas como com enchimento e sem enchimento. As mesmas serão detalhadas a seguir:

- Valas periféricas com enchimento;

Este modelo de vala apresentado por Henriques (2007) é executado geralmente junto à parede, no entanto também podem ser construídas de forma afastada. Possuem materiais de enchimento no seu interior que permitam a percolação da água infiltrada até um tubo colocado no fundo da vala.

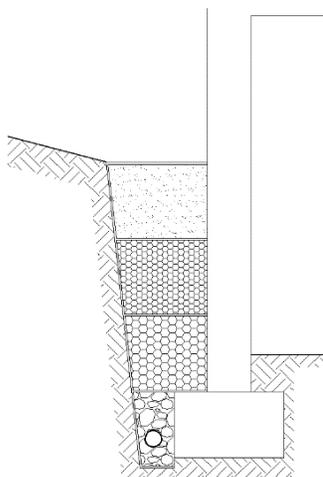


Figura 21 - Vala periférica com enchimento. Fonte: Henriques (2007).

O enchimento da vala é executado de forma que a granulometria deve crescer no sentido da superfície para o fundo do dreno. A parede e a fundação devem ser impermeabilizadas (CARRIÓ, 2010). Em relação à tubulação no fundo do dreno, Henriques(2007)diz poder ser de material poroso, ou quando não poroso deve-se perfurar o mesmo com perfurações afastadas uma das outras. Ainda recomenda a construção de caixas de inspeção para a limpeza periódica deste tubo. Carrió (2010) também lembra que a tubulação deve estar ligada à rede de saneamento existente para onde a água deverá ser conduzida.

- Valas periféricas sem enchimento;

Valas periféricas sem enchimento são atualmente mais conhecidas por ventilação da base das paredes. É uma técnica antiga para o tratamento da umidade ascensional. O tratamento consiste em ventilar a base das paredes através de um processo de ventilação natural ou instalando um dispositivo de ventilação mecânica. A existência de canais periféricos na base das paredes

afetadas diminui o contato desta com a água (prevenindo a infiltração) e promove a evaporação da água absorvida, a qual ocorre abaixo do nível do solo (TORRES e FREITAS, 2007). Torres (2014) ressalta que esta técnica pode utilizar dispositivos de ventilação mecânica. Quando necessário, coloca-se um dispositivo de extração em uma das extremidades do canal que força o ar úmido para sair e somente começará a funcionar quando a umidade relativa no interior do canal é maior do que a umidade relativa do ar exterior.

Conforme Teixeira (2007), as águas pluviais deverão ser coletadas por canais exteriores, quais devem possuir uma espécie de calha, para tal finalidade, protegida e ventilada. Interno à edificação, o sistema deverá conter tubos perfurados, permeáveis ao vapor, juntos a um dispositivo de ventilação (Figura 22). Torres (2014) analisou a influência da altura dos canais de ventilação na eficiência da ventilação na base das paredes. Concluiu que a variação da altura do canal de ventilação (0,15 -0,35m) tem uma grande influência na eficácia da ventilação da base das paredes de pouca espessura e pequena influência nas de grande espessura.

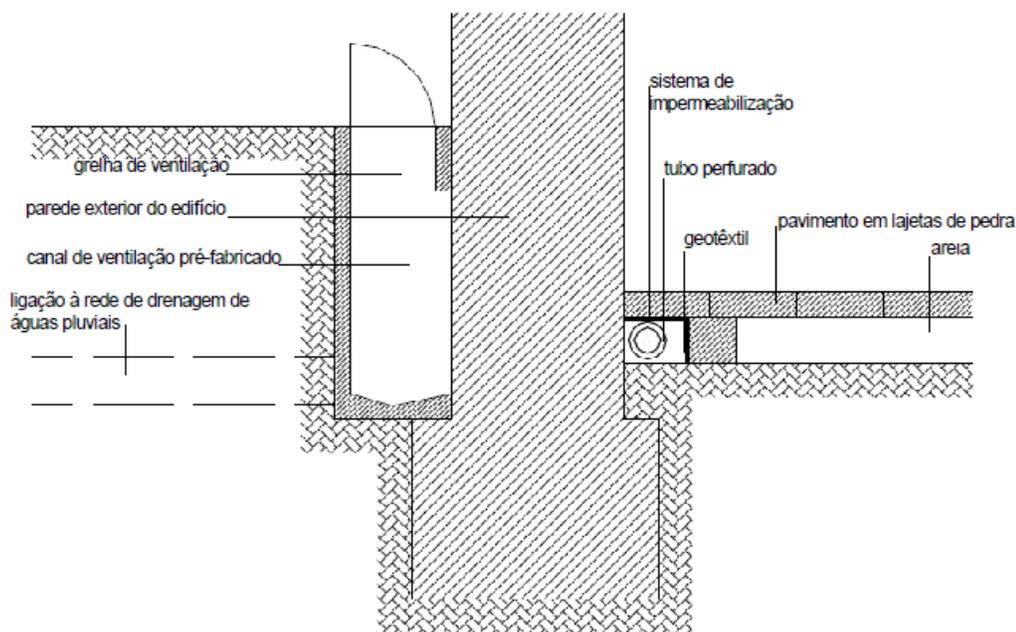


Figura 22 - Princípios de funcionamento de um sistema de ventilação da base das paredes. Adaptado de Teixeira, 2007.

Freitas (2014) trata a ventilação da base das paredes como uma técnica bem documentada e investigada, que apresentou bons resultados, até mesmo em paredes heterogêneas. No entanto

Carió (2010) considera esta técnica como uma forma de minimizar as manifestações patológicas, visto que não impede a umidade de alcançar a parede, mas apenas acelera evaporação da umidade.

Entre as limitações desta técnica está a necessidade de que a fundação esteja localizada acima do lençol freático e ser contínua para ser eficiente. A execução da vala pode causar instabilidade estrutural. Além disso, requer espaço para a execução da mesma, o que não é possível em edificações em malhas urbanas densas, quando feitas na divisa dos lotes adjacentes. Apesar das restrições, quando há condições de aplicação deste método, ele se apresenta bastante eficaz.

3.2.2 TÉCNICAS DESTINADAS A IMPEDIR A ASCENSÃO DA ÁGUA NAS PAREDES COM PROBLEMAS DE UMIDADE

Os métodos existentes para impedir a ascensão da água nas paredes são a redução da seção absorvente e a introdução de barreiras impermeáveis. Neste trabalho será feito maior detalhamento sobre as barreiras impermeáveis, já que é o objeto de estudo da presente pesquisa.

A redução da seção absorvente é baseada na retirada da alvenaria, deixando espaços vazios, diminuindo a área de contato da edificação com a fonte de umidade. Desta forma, além de a quantidade de água absorvida ser reduzida, aumentará a área de evaporação através destes espaços vazios, assim diminuindo a ascensão. Esta solução é pouco eficaz, além de introduzir alterações na arquitetura do edifício, proporciona mudanças estruturais, como se pode observar na Figura 23 (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008).

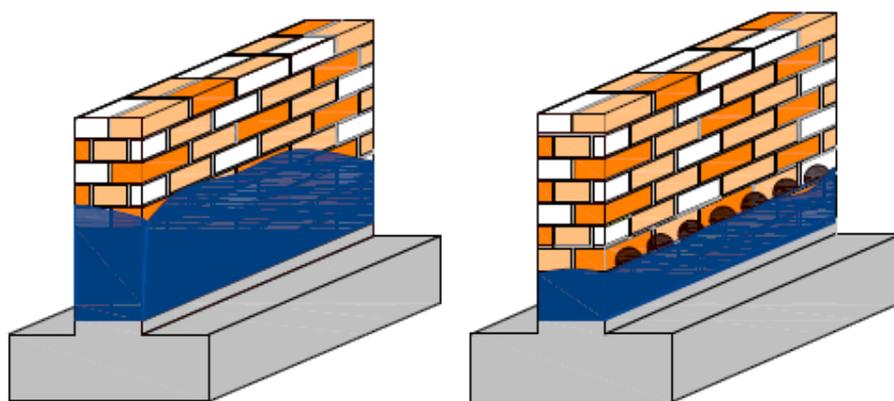


Figura 23 - Influência da redução da seção absorvente na umidade ascensional: parede sem e com aberturas, da esquerda para a direita Fonte: Teixeira 2007.

A redução da seção absorvente é raramente aplicável por interferir consideravelmente na fachada da edificação.

A seguir serão explicadas as barreiras impermeáveis, com maior aplicabilidade. Estas necessitam, de certa forma, da destruição de uma parte da parede. Esta atuação destrutiva pode dificultar a execução da técnica (CARRIÓ, 2010).

a) Barreiras Físicas

O princípio desta técnica consiste na colocação de barreiras que devem impedir a passagem da água, tanto no interior quanto no exterior da parede. Deve permitir a ventilação da parte da parede que fica abaixo da lâmina de água para permitir alcançar o equilíbrio de umidade, assim não causando um acúmulo de água abaixo da barreira introduzida, como está ilustrado na Figura 24. Ainda, sempre que possível, ocultar a lâmina ou objeto introduzido, para que a fachada seja preservada (CARRIÓ, 2010).

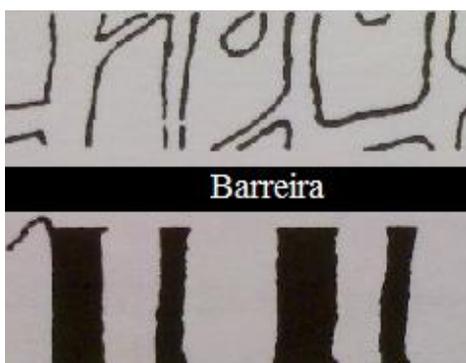


Figura 24 - Desenho de o que ocorre nos poros e capilares quando ocorre o corte hídrico. Adaptado de Masy (1998).

As barreiras físicas podem ser realizadas de diferentes formas, eficazes quando bem executadas, no entanto, geralmente alteram a fachada, o que pode comprometer a arquitetura. Além disso a execução, de uma forma geral, não é muito simples, seja pelo tempo de execução envolvido ou por causar vibrações, podendo ocasionar instabilidade estrutural. Os tipos de barreiras físicas são apresentados a seguir (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008).

Anon (1995) apud Alfano et al. (2006) acredita que a barreira impermeável na base da parede, eram as mais eficazes. Antigamente era realizada com placas de chumbo e composições de

betume, recentemente são utilizadas folhas finas de alumínio revestido, folhas de polietileno ou cobre.

- Substituição Parcial dos componentes da Alvenaria;

Esta técnica é realizada a partir da substituição parcial. Inicialmente a alvenaria é demolida em pequenas partes (20 a 30 cm de altura) e em toda a espessura da parede e em seguida executando a substituição desta por material betuminoso. O corte hídrico também pode ser realizado efetuando-se um rasgo (aproximadamente 1m) o qual posteriormente é preenchido por materiais estanques, chapas metálicas, manta impermeável, membranas asfálticas entre outros, sempre garantindo a continuidade do material (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008). A Figura 25 ilustra o método.

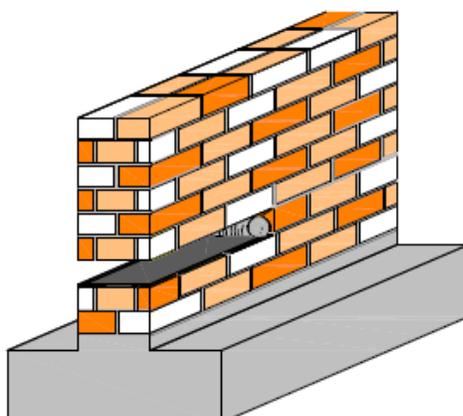


Figura 25 - Substituição de elementos de alvenaria. Fonte: Teixeira, 2007

É de difícil e lenta execução e aplicável apenas em paredes constituídas por elementos pequenos e regulares. Há vibrações durante a execução.

- Método de Massari;

Freitas, Torres e Guimarães (2008) explicam que o método de Massari consiste na execução de cortes cilíndricos sucessivos em partes de cerca de 45 a 50 cm de comprimento. Primeiramente executam-se as perfurações tangentes umas às outras, logo se realiza a limpeza e o preenchimento com argamassa impermeável (Figura 26). Após o endurecimento da argamassa, repete-se o procedimento; esta segunda série de perfurações terá os centros nos pontos de tangencia anteriores.

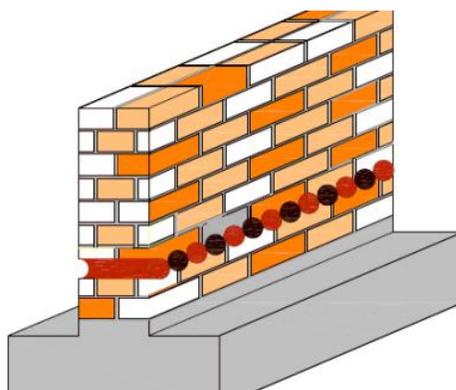


Figura 26 - Método de Massari. Fonte: Teixeira, 2007.

- Inserção de lâmina impermeável.

Esta técnica basicamente se restringe a prédios históricos. Consiste na introdução de uma lâmina, que pode ser de material plástico ou metálico, na base das paredes. Carrió (2010) recomenda a colocação deste material entre as fiadas de tijolo, na argamassa, sobrepondo parte destas lâminas. Freitas, Torres e Guimarães (2008) ainda apresenta o método denominado de Schöner Turnque consiste na introdução de chapas de aço inoxidável onduladas nas paredes, como mostra a Figura 27.

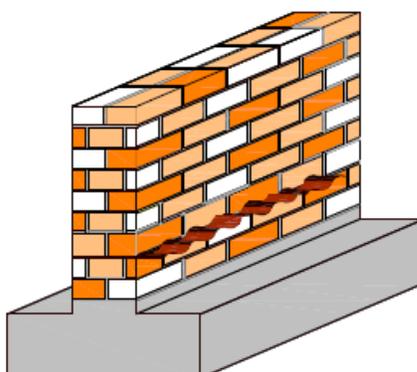


Figura 27 - Método de Schöner Turn. Introdução de chapa metálica de aço inoxidável. Fonte: Teixeira 2007.

Esta técnica se restringe a alvenarias constituídas por elementos regulares (como, tijolos, pedra), com juntas horizontais contínuas e bem definidas (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008).

Para a execução deve-se utilizar martelos pneumáticos e assim vibrações indesejadas podem ser causadas. Este método é adotado em prédios históricos com paredes de maior espessura.

Necessitando de espaço próximo das paredes, pois o martelo pneumático normalmente precisa de uma grande área para a colocação da chapa.

b) Barreiras Químicas

Com o mesmo objetivo das barreiras físicas, este método pretende impedir a ascensão da umidade na parede. Diferente da anterior, são mais discretas na fachada e a vibração nas paredes limitam-se as causadas pela furadeira durante execução dos furos onde são introduzidos os produtos químicos.

Para Teixeira (2007) e Carrió (2010) estas barreiras devem ser executadas cerca de 15 cm acima do terreno e os furos afastados de 10 a 20 cm. Carrió (2010) recomenda que os furos sejam executados em ambas as faces da parede, no entanto nem sempre isso é possível. Então Teixeira (2007) recomenda que a parede deve ser furada com profundidade igual $1/3$ da espessura (quando nas duas faces da parede), ou $2/3$ (quando a perfuração se der apenas em uma das faces) conforme mostra a Figura 28.

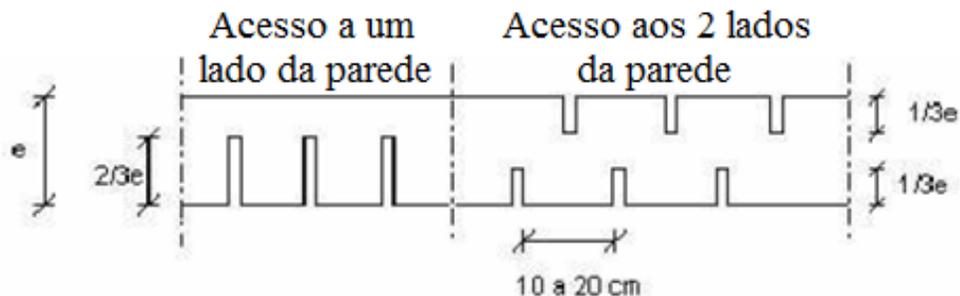


Figura 28–Representação esquemática da furadeira da parede para colocação do produto impermeabilizante. Fonte: Teixeira 2007.

No entanto, dependendo do fabricante dos produtos, estas distâncias e alturas são diferentes. Alguns recomendam que os furos para a introdução dos produtos, devem ser em uma única linha horizontal, outros recomendam em duas linhas, intercalando os furos. Logo após a perfuração, inicia-se a introdução dos produtos por gravidade ou pressão. Em alguns casos, os fabricantes recomendam a repetição da aplicação. O material inserido tem a função de estabelecer uma barreira química nas estruturas porosas do material que constitui a parede.

Carrió (2010) acredita que a facilidade de aplicação desta técnica a torna atrativa. No entanto afirma ser necessário aguardar alguns anos para confirmar sua eficiência. Segundo o autor,

algumas empresas oferecem garantia de 10 anos. Mas deve-se atentar que há necessidade da repetição da execução da técnica com o passar dos anos. Ainda é importante saber que a edificação não pode ser propícia a fissuras, já que é necessário realizar diversas perfurações.

Morais (2011) afirma que para que possa cumprir os objetivos da barreira química é necessário garantir a boa penetração do produto e a sua continuidade. No entanto, como nem todos os produtos se adequam a todo tipo de parede, é necessário escolher criteriosamente os produtos e a forma de aplicação.

Segundo Teixeira (2007), os produtos utilizados como barreira química dividem-se em 6 grupos em função de sua composição, a saber:

- a) **Acrilamidas:** resultam da mistura de dois compostos orgânicos. Dão origem a um material com viscosidade semelhante à da água e se mantém até o momento em que se dá a gelificação desejada para obturar os poros. É considerado um dos mais eficazes;
- b) **Organo metálicos:** produtos mais recentes constituídos por compostos orgânicos de titânio e de alumínio que se polimerizam em presença da água após a evaporação dos solventes;
- c) **Resinas epoxídicas:** produto de mais difícil penetração, nos casos em que a parede é constituída por poros de pequenas dimensões. O endurecimento é muito rápido e começa logo após o início da introdução do produto, podendo bloquear os poros antes do término da operação;
- d) **Silicatos:** conjunto de produtos que tem em comum a formação de um gel de sílica que irá obturar os poros e os tubos capilares. Estes produtos apresentam uma baixa capacidade de penetração nas paredes. A sua introdução pode originar eflorescências e levar a uma desagregação de partes superficiais do material;
- e) **Siliconatos:** compostos solúveis na água que em presença do dióxido de carbono se transformam em materiais hidrófobos. No caso específico de paredes espessas poderá haver alguma dificuldade em garantir a sua eficácia, uma vez que existe carência de dióxido de carbono;
- f) **Silicones:** compostos macromoleculares dissolvidos em solventes hidrófobos, o que dificulta a impregnação, pelo que a sua aplicação implica um maior número de furos;
- g) **Siloxanos:** Solução aquosa de metasiliconato de potássio. Conforme Lubelli, Van Hees e Hacquebord (2013) os Siloxanos alteram a permeabilidade ao vapor já que não causam o tamponamento dos poros, mas repelem a água porque alteram as superfícies hidrófilas dos capilares para hidrófobas. Essa

alteração se deve à grande quantidade de hidrocarboneto em sua estrutura. Os autores concluíram ser uma boa alternativa

Freitas, Torres e Guimarães. (2008) e Alfano et al. (2006) apresentam uma classificação dos produtos em 2 grupos. Os primeiros são produtos que preenchem os poros (conhecidos por tapaporos ou princípio de tamponamento) e o segundo aqueles que repelem a água (também conhecidos como hidrofugantes). Conforme Alfano et al. (2006) e Carrió (2010), os hidrofugantes mudam o ângulo de contato da água com as paredes dos capilares (tornam superior a 90°), eliminando a tensão ascensional, assim a tensão resultante gera uma pressão descendente, o que impede a ascensão da água. Freitas, Torres e Guimarães. (2008) afirmam que na aplicação por pressão pode-se utilizar qualquer um destes produtos listados, no entanto quando se utiliza o método de inserção por gravidade os produtos devem ser os silicatos. As bases químicas dos produtos utilizados em cada grupo é como segue.

- a) Hidrófugos: Organo metálicos, siliconatos, silicones e siloxanos
- b) Tapa-Poros: Acrilamidas, resinas epoxídicas, silicatos alcalinos

Como dito anteriormente, as aplicações podem ser através da injeção ou da gravidade. A seguir são explicados estes métodos de forma mais detalhada.

- Aplicação por Gravidade;

Esta técnica baseia-se na ação da gravidade, podendo os furos serem executados, quer na horizontal, quer inclinados no sentido da base da parede. São introduzidos os produto selecionado, como pode ser observado na Figura 29 e Figura 30 (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008). A maioria dos fabricantes do mercado brasileiro especifica que a perfuração para a aplicação do produto deve ser a 45° , colaborando com o a força gravitacional para o seu melhor espalhamento. Alguns ainda recomendam a saturação dos furos com água antes da aplicação dos produtos.

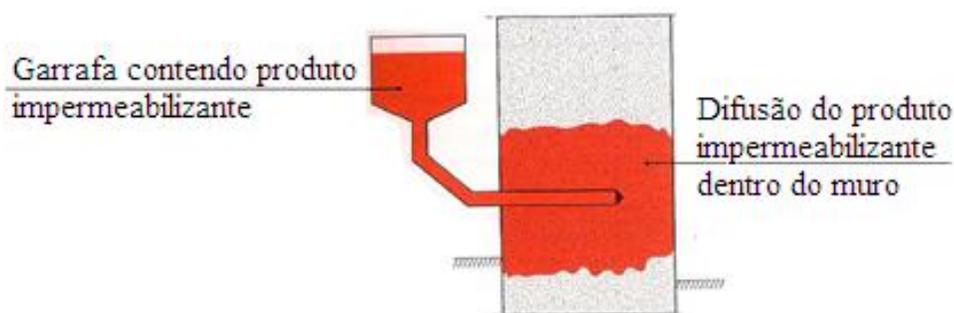


Figura 29—Representação esquemática da introdução de produtos por gravidade. Adaptado de Freitas, Torres e Guimarães., 2008.

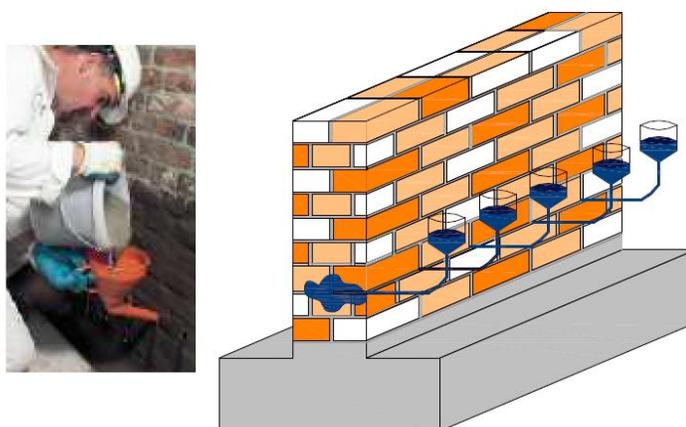


Figura 30 - Introdução de produto por gravidade. Fonte: Teixeira 2007.

- Aplicação por Injeção.

A técnica por injeção utiliza um equipamento de pressão para introduzir o produto na parede, como ilustrado na Figura 31. O equipamento é ligado diretamente a um conjunto de tubos colocados na furação realizada. A pressão utilizada neste tipo de equipamento dependerá da resistência mecânica e porosidade do material (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008).

A pressão no momento da introdução colabora para facilitar a expulsão da água contida nos poros, e assim, ocorre uma melhor penetração o produto, bem como uma distribuição de forma homogênea e contínua. Este modo de aplicação requer equipamento específico para aplicação e mão de obra treinada para a utilização.



Figura 31 - Aplicação por injeção: (a) equipamento de injeção; (b) execução da injeção. Fonte: Teixeira 2007.

Carrió (2010) acredita que, atualmente, a hidrofugação é a intervenção mais utilizada. No entanto, Carrió (2010) e Merino (1998) afirmam que o nível de umidade dentro da parede deve ser baixo, ou ainda a parede deve estar seca, para ocorrer a impregnação do produto nos poros. Assim deve ser executada em épocas mais secas ou ainda secar a parede de forma artificial para aplicar o produto.

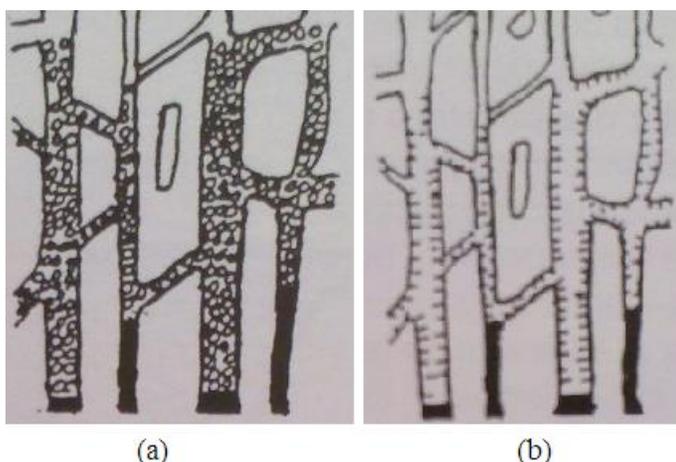


Figura 32–Representação esquemática do funcionamento das barreiras químicas. (a) obstrução dos poros; (b) hidrofugação dos poros. Adaptado de Masy (1998).

Merino (1998) explica que a pressão aplicada na injeção dos produtos deve durar aproximadamente de 10 a 15 min. Assim, conclui-se que não é um método recomendável para alguns materiais, como explicam Alfano et al. (2006). Os autores recomendam que, para materiais como pedras com maiores durezas, a aplicação deve ser lenta, por isso aplicado pela ação da gravidade, permitindo a penetração completa na estrutura do material. Conforme os

autores, a boa penetração dos produtos de forma contínua é o que garantirá o sucesso da barreira química.

Quando o problema de umidade ascensional ocorre em paredes muito espessas ou muito heterogêneas, dificilmente será eficaz. Isso provavelmente aconteça porque é difícil garantir o espalhamento do produto por toda a espessura da parede, não garantindo assim uma barreira impermeável contínua. Apesar disso, de forma geral, as barreiras químicas são eficientes e as interferências na fachada são mais sutis do que na técnica de barreira físicas (FREITAS, 2014).

Luso et al. (2003) apresentam um estudo onde utilizaram três técnicas em uma mesma parede. Na zona 1 a técnica utilizada foi a de barreira química por injeção, utilizando um produto impermeabilizante que foi introduzido sob pressão com cinco injetores simultâneos. Na zona 2 utilizou-se a técnica de barreira química por gravidade através de um equipamento de transfusão. Na zona 3 foi executado um acabamento macroporoso (em três camadas). Para este último foi necessário retirar o revestimento existente. A primeira camada foi denominada de camada de argamassa consolidante, a segunda de camada de argamassa macroporosa anti-sais e a terceira de camada de argamassa desumidificante. A Figura 33 ilustra o experimento.

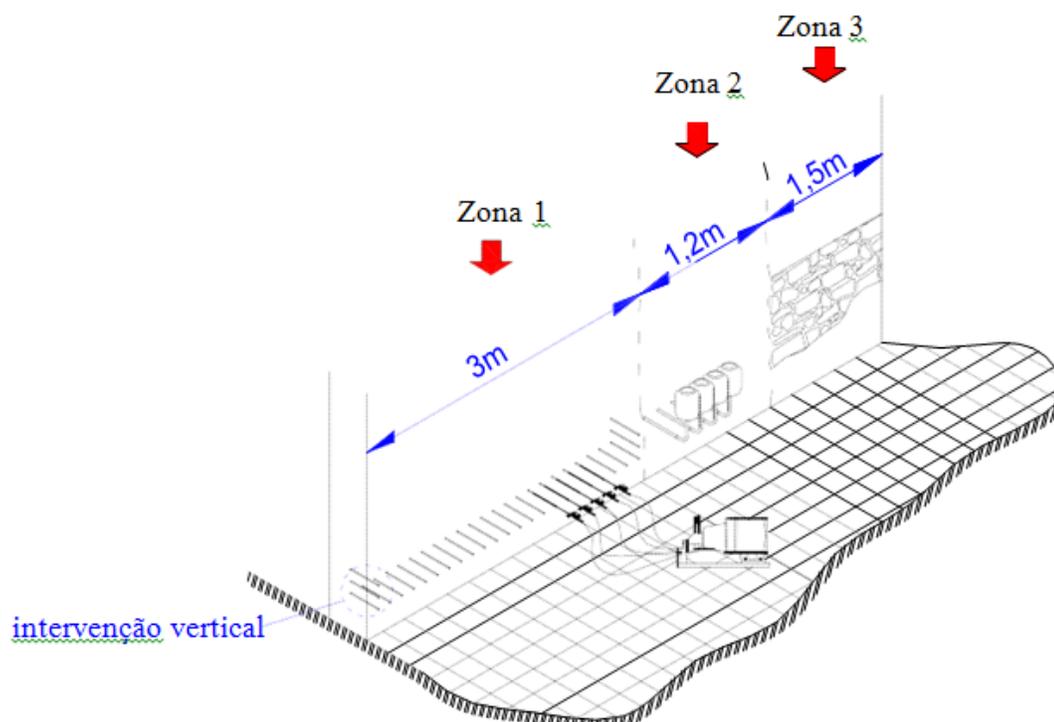


Figura 33 - Esquema com a localização dos ensaios realizados. Fonte: Luso et al. (2003).

Antes e após a aplicação dos produtos realizaram-se medições da umidade superficial contida na parede (com um medidor digital) e os resultados estão expressos na Figura 34.

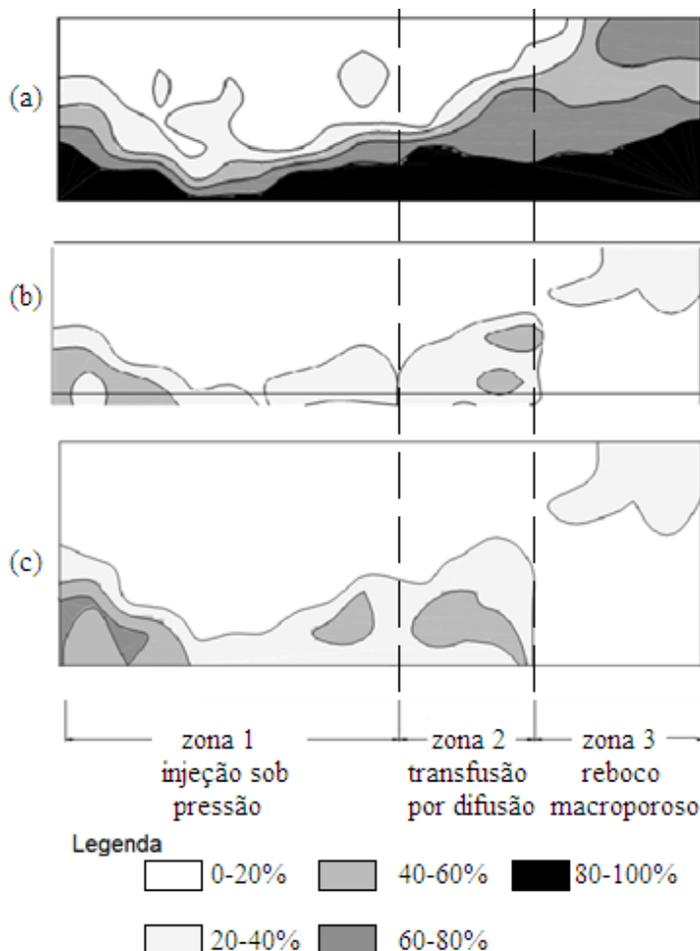


Figura 34 - Medições de umidade na parede. a) antes de sofrer intervenção; b) é após a aplicação das técnicas e secagem da parede; c) é após a colocação de água na base. Adaptado de: Luso et al. (2003).

Através dos resultados pode-se observar que todas as técnicas conseguiram diminuir significativamente a umidade na parede (LUSO; LOURENÇO; ALMEIDA, 2003). Ainda é possível que a medição superficial induza à conclusão que a argamassa porosa é a alternativa mais eficiente, mas como a medição, não mostra o comportamento da umidade interna à parede, não se pode confirmar.

Freitas, Torres e Guimarães (2008) realizaram um estudo motivados pela observação das manifestações patológicas em paredes divisórias sobre pisos térreos que não possuíam barreira hídrica adequada. Para isso, construiu-se sobre uma base de argamassa de 50 mm de altura, 25

corpos de prova em tijolos maciços e tijolos furados. A utilização da base em argamassa foi com a finalidade de tornar possível uma melhor introdução dos produtos de tratamento. A configuração dos corpos de prova ensaiados foi conforme a Figura 35.

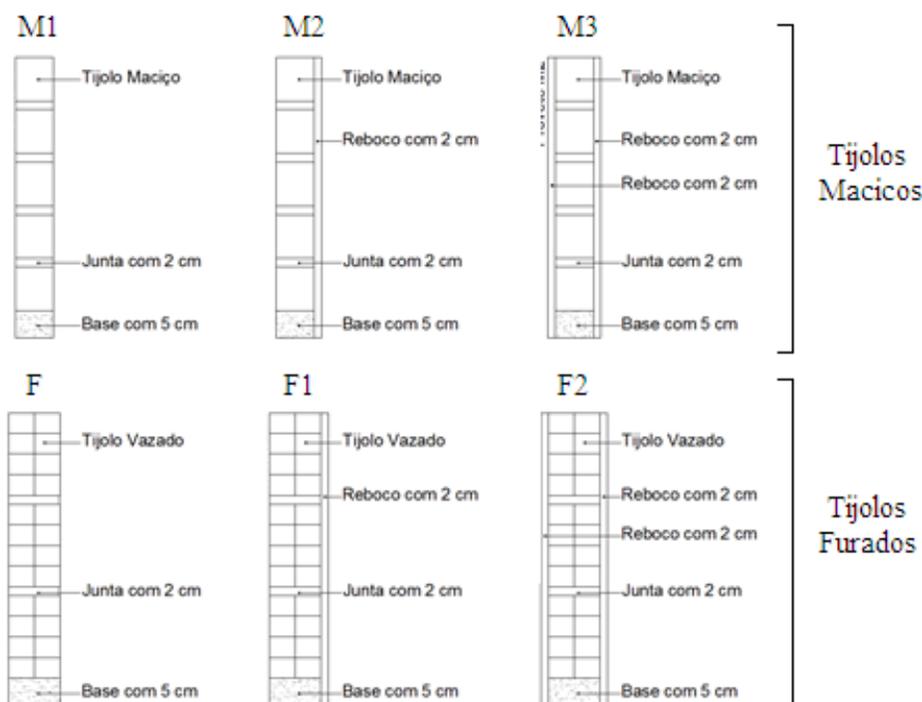


Figura 35 - Legenda: M – cp de tijolo maciço sem acabamento; M1 - cp de tijolo maciço e com acabamento de argamassa em uma só face; M2 - cp de tijolo maciço e acabamento de argamassa em ambas as faces; F – cp de tijolo furado sem acabamento (7 cm); F1 - cp de tijolo furado com acabamento de argamassa e F2 - cp de tijolo furado acabamento de argamassa em ambas as faces. Adaptado de Freitas, Torres e Guimarães. 2008.

Os ensaios foram realizados utilizando uma barreira química com duas composições diferentes (A e B), em corpos de prova maciços (M, M1 e M2) e furados (F, F1 e F2). A influência dos sais também foi analisada. Optou-se por utilizar os sais comuns no solo, o cloreto de sódio (sal I) e o sulfato de sódio (sal II).

O processo do ensaio constituiu em medir a massa dos corpos de prova secos, logo colocá-los em água e pesá-los ao longo do tempo. As medidas foram realizadas nos períodos de 15, 30 e 60 minutos, 3, 24 e 48 horas, até que a estabilização da massa fosse atingida, assim atingindo o máximo da ascensão capilar. A estabilização dos corpos de prova ocorreu em tempos diferentes.

Conforme Freitas, Torres e Guimarães (2008), os resultados dos estudos mostraram que uma barreira química contínua é eficiente no tratamento da umidade ascensional e que ambos produtos

ensaiados conduziram a resultados similares. A dificuldade está em efetivamente executar a barreira de forma contínua. Ainda constataram que, conforme os resultados do ensaio, quanto menos permeável ao vapor for o revestimento (executado em ambas as faces da parede) maior é o nível atingido pela umidade.

Também foi verificado que o efeito negativo pela presença de sais não consegue ser minimizado quando se executa uma barreira química. Os sais fizeram aumentar intensamente a quantidade de água absorvida.

Alfano et al (2006), em uma pesquisa a longo prazo (em paredes observadas ao longo de 12 anos) concluíram que os melhores desempenhos foram os produtos a base de silano. Já Lubelli, Van Hees e Hacquebord (2013), em uma pesquisa mais recente, estudaram o espalhamento de diversos produtos: cremes, produtos à base de solvente e produtos à base de água. Estes autores concluíram que em um substrato seco, a maioria dos produtos pode se espalhar bem e garantir uma boa eficácia. Produtos à base de água garantiram um bom espalhamento também em altos graus de saturação, diferente dos com outras bases, que tiveram maiores dificuldades de espalhar. Entre os melhores resultados estão os dos produtos à base de siloxano. Mesmo assim os autores não puderam afirmar se os produtos são realmente eficazes caso o substrato, após o tratamento, mantenha o mesmo suprimento de umidade que tinha antes da intervenção.

3.3 TÉCNICAS DESTINADAS A RETIRAR A ÁGUA EM EXCESSO DAS PAREDES

Basicamente são dois os métodos adotados para retirar a água de paredes com alto teor de umidade: tubos de arejamento e de eletro osmose.

3.3.1 TUBOS DE AREJAMENTO

Carrió (2010) descreve a execução desta técnica como a introdução de tubos perfurados (cerâmicos ou plásticos), alinhados horizontalmente na base de uma parede, para facilitar o arejamento do local. Estes tubos, são introduzidos distanciados de 5 a 15 cm. A drenagem da água contida nos poros poderá ocorrer desde que a pressão capilar não seja muito grande.

Estes tubos de arejamento também são conhecidos por Tubos de Knappen, já que Knappen foi o idealizador desta técnica. Ela é baseada na experiência de mergulhar um tubo de ensaio com água em um recipiente com óleo e verificar que a água aos poucos vai substituindo o óleo por ser mais densa (HENRIQUES, 2007).

Carrió critica a técnica afirmando ser limitada a baixas pressões capilares e a paredes de fechamento que tenham baixa importância visual, onde a estética não é importante, já que os tubos são visíveis. Além disso, os tubos podem ser saturados por sair microscópicos levados pela água e, caso isso ocorra, inutiliza o sistema.

Além dos tubos de Knappen, Silva (2012) apresenta duas técnicas que classifica como evolução da que utiliza os Tubos de Knappen. Estas são *System for combating rising damp* e *Sifon atmosferico bivial para el desecamiento de muros*. Assim como o sistema anterior, funciona através de tubos de cerâmicos introduzidos nas paredes que tem por objetivo induzir a umidade contida na parede a migrar para os tubos para posteriormente evaporar. A diferença é que os tubos são anexados a um rodapé que possui uma cavidade oca. Este rodapé possui orifícios para permitir que o ar do ambiente entre nos tubos permitindo a absorção da umidade. Através dos orifícios inferiores do rodapé o ar úmido sai devido a circulação de ar natural. A Figura 36 mostra em corte o funcionamento deste sistema.

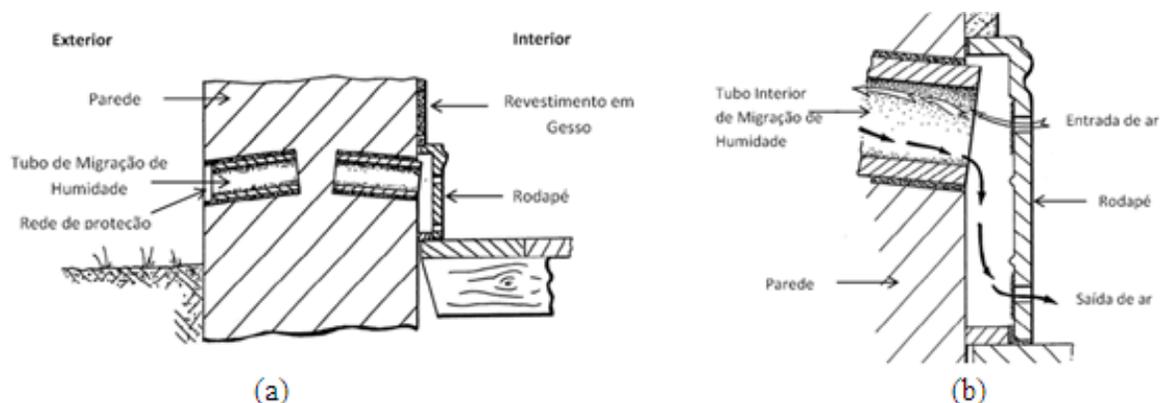


Figura 36 - (a) Corte esquemático do System for Rising Damp. (b) Corte esquemático do sistema com o ciclo do fluxo de ar. Adaptado de Silva (2012).

Já o sistema *Sifon atmosferico bivial para el desecamiento* de muros utiliza duas peças de cerâmicas unidas que juntas formam um sifão atmosférico. A troca de massas de ar ocorre pela ação osmótica, capilar e por impulso dos gases ascensionais, assim permitindo a evaporação da

umidade, esta evapora através das perfurações dos sifões. A Figura 37 mostra a composição do sifão e o funcionamento do mesmo (SILVA, 2012).

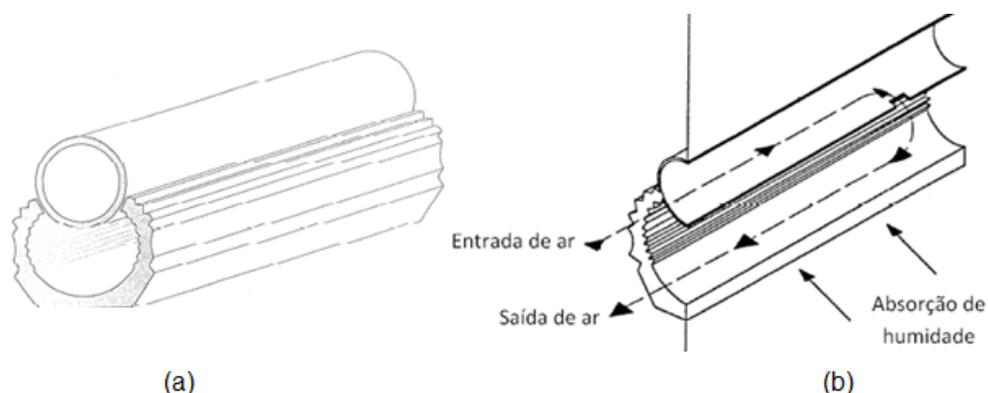


Figura 37 – (a) Perspectiva do Sifão composto de duas peças cerâmicas coladas; (b) Corte esquemático do sifão na base da parede com setas que indicam o movimento de fluxo de ar. Adaptado de Silva (2012).

Silva (2012) ainda lembra que esta técnica requer cuidados como a limpeza e proteção contra a entrada de insetos o que implica em manutenção periódica e custos adicionais.

Silva (2012) e Moraes (2011) consideramos tubos de arejamento econômicos e que tenta melhorar as condições de evaporação da parede. No entanto, os autores acreditam que estes tubos não impedem a ascensão da umidade e o efeito estético é bastante desagradável. A Figura 38 ilustra uma fachada com os tubos de arejamento.



Figura 38 - Tubo de arejamento. Adaptado de Teixeira 2007.

3.3.2 ELETRO-OSMOSE

Esta técnica consiste em uma drenagem linear, na base das paredes, que utiliza o terreno de contato como o polo positivo e a parede como negativo. A água exerce o papel de condutor de corrente elétrica (CARRIÓ, 2010).

Há pouca disponibilidade de soluções para sistemas como a eletro-osmose devido à sua eficácia reduzida (FREITAS, 2014). Apesar de ter um aspecto menos agressivo à fachada e poder atuar em casos diversos, em geral esta técnica é pouco eficaz e inadequada quando a resistência elétrica do terreno é elevada.

Carrió (2010) considera a eletro-osmose como um sistema de uso limitado, que exige manutenção e cuidados e mesmo quando utilizado materiais inoxidáveis, estes acabam corroendo-se. Além disso, o autor considera esteticamente desagradável.

Os quatro grupos existentes de eletro-osmose descritos por Freitas, Torres e Guimarães (2008) são apresentados a seguir.

a) Eletro-osmose passiva

Executa-se uma ligação entre os eletrodos da parede (ânodo) e do terreno (cátodo). Os eletrodos são da mesma natureza.

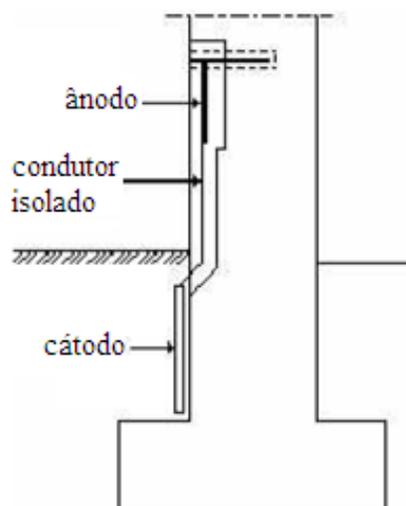


Figura 39 - Corte esquemático da técnica de eletro-osmose passiva. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães. (2008).

b) Eletro-osmose semi-passiva

Método similar ao anterior, porém os eletrodos são de materiais diferentes, dessa forma, introduz-se uma tensão, criando uma espécie de pilha.

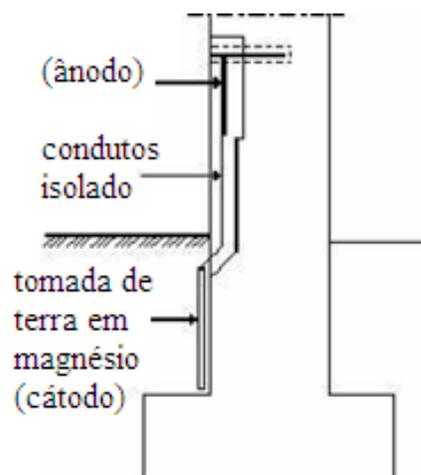


Figura 40 - Corte esquemático da técnica de eletro-osmose semi-passiva. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães. (2008).

c) Eletro-osmose ativa

Inserir-se entre os eletrodos da parede e terreno uma fonte de corrente contínua de baixa tensão. Esta colabora para o estabelecimento de uma diferença de potencial (máximo de 1,6 Volts) para não acontecer eletrólise da água.

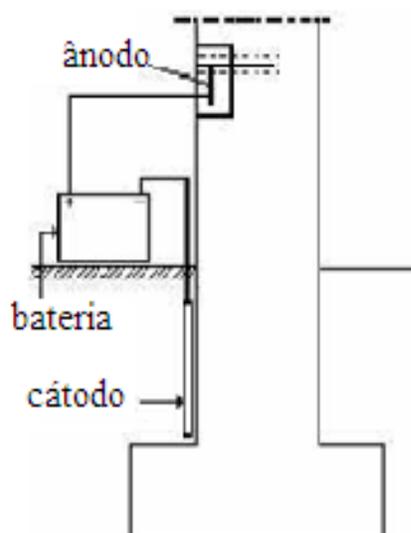


Figura 41 - Corte esquemático da técnica de eletro-osmose ativa. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães. (2008).

d) Eletro-osmose forese

A fim de solucionar o inconveniente dos processos anteriores (interrupção do funcionamento do sistema), esta técnica utiliza o ânodo em cobre e o cátodo em aço galvanizado. Logo se executa a introdução de “produtos de forese” com partículas metálicas em suspensão.

Funcionando o sistema sob a ação da corrente criada, a água desloca-se arrastando consigo os produtos que irão preencher os tubos capilares (dentro de aproximadamente um ano e meio a dois anos totalmente preenchidos).

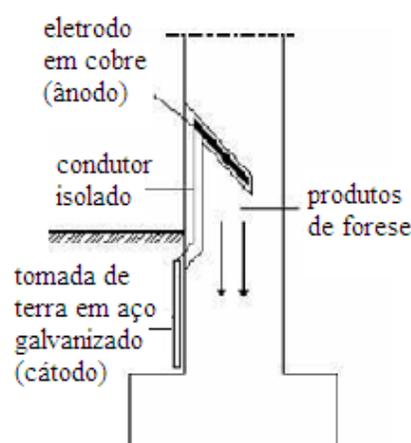


Figura 42 - Corte esquemático da técnica de eletro-osmose forese. Fonte: Freitas, Torres e Guimarães. (2008).

3.4 OCULTAÇÃO DAS ANOMALIAS

Quando não há condições de execução de tratamentos para solucionar a causa do aparecimento da umidade, pode-se ocultá-las, das seguintes formas:

a) Aplicação de revestimento com porosidade controlada

A técnica consegue fazer com que a água que ascende seja eliminada por evaporação. A principal limitação é ser restrita a paredes revestidas com argamassa e não permitir pintura da superfície da parede com tinta de baixa permeabilidade à água. Deve-se atentar ao aparecimento de eflorescências (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008). Consiste na execução de um revestimento poroso que facilitará a evaporação da água contida na parede. Para controlar a dimensão dos poros, executa-se o revestimento de argamassa em camadas com características distintas para que a porosidade diminua do exterior para o interior, conforme a Figura 43.

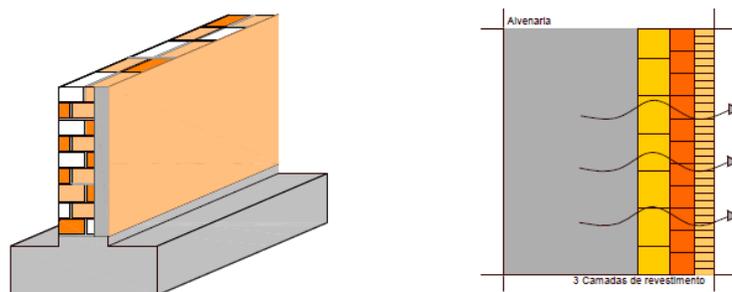


Figura 43 - Revestimento com porosidade controlada. Fonte: Teixeira 2007.

b) Aplicação de forro interior separado por um espaço de ar

Merino (1998) relata que está é uma técnica muito empregada na antiguidade. Freitas, Torres e Guimarães (2008) a descrevem como a execução de uma divisória de pequena espessura, afastada da parede em cerca de 10 cm (sem permitir nenhum ponto de contato entre parede e divisória pelo lado interno da parede com problema). O espaço criado entre os planos deve ser ventilado para o exterior, permitindo a evaporação efetiva. A ventilação é através de orifícios localizados a diferentes níveis na parede (nunca no forro, para o interior). A base da superfície que oculta a parede com problema (parede interior) deve ser impermeável na parte inferior de e forma a não haver continuidade hídrica. Merino (1998) recomenda que as aberturas sejam no mínimo na proporção de 30cm² para cada 1m² de área da parede.

O principal inconveniente é que, além de não eliminar o problema de umidade e apenas ocultar as manifestações por ela causadas, esta técnica reduzir a área útil do ambiente. A Figura 44 mostra os detalhes construtivos descritos.

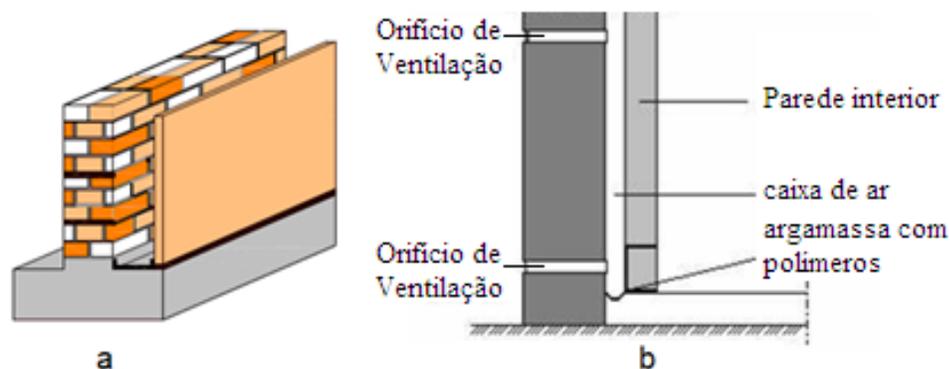


Figura 44 - Ocultação das anomalias através da execução de um forro interior (detalhes construtivos). a) Fonte: Teixeira, 2007; b) Fonte: Freitas, Torres e Guimarães (2008).

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

No presente capítulo será detalhado o programa experimental desenvolvido neste trabalho. São abordadas as variáveis a serem investigadas, os materiais utilizados, as etapas experimentais empregadas e a estratégia adotada para a verificação da eficiência dos sistemas propostos pelos fabricantes que une o produto com o modo de aplicação. A metodologia adotada neste trabalho baseou-se no trabalho apresentado por Freitas, Torres e Guimarães (2008). A Figura 45 apresenta as etapas do programa experimental.

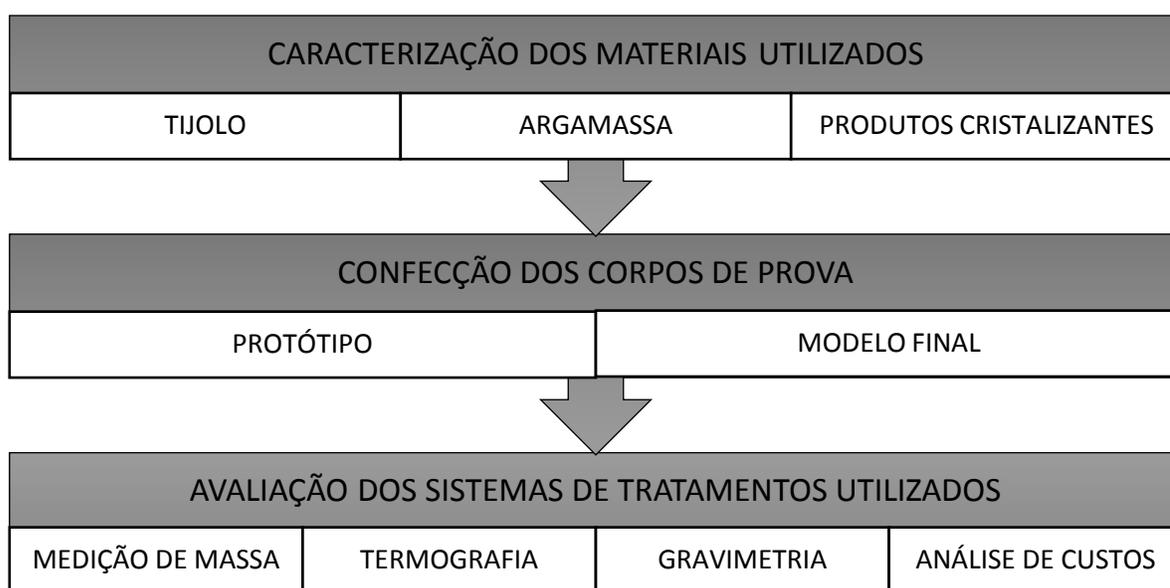


Figura 45 - Fluxograma do programa experimental.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram tijolos cerâmicos, argamassa industrializada e produtos químicos cristalizantes. As características dos mesmos são apresentadas a seguir.

4.1.1 TIJOLO CERÂMICO MACIÇO

Para a confecção dos corpos de prova, em formato de pequenas paredes, foram utilizados tijolos cerâmicos maciços. Alguns fabricantes dos produtos cristalizantes pesquisados recomendam que seus produtos para serem aplicados tanto em paredes com tijolos furado quando em maciços, outros apenas em maciços. Assim optou-se pelo material que fosse atendido por todos os fabricantes pesquisados. As características dos tijolos são apresentadas na Tabela 1. Não havendo norma específica para o ensaio de absorção de tijolos, e considerando uma característica importante, utilizou-se a NBR 15270 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), a qual é destinada a blocos cerâmicos, onde os procedimentos de ensaio são os mesmos recomendados pela NBR 15310 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) para determinar o índice de absorção de água de telhas cerâmicas. Os resultados de medições do índice de absorção inicial e dessorção são apresentados na sequência (Tabela 2). Além destes ensaios, usualmente realizados na caracterização de blocos e tijolos cerâmicos, foram realizados ensaios recomendados para argamassas, referentes à absorção de água e coeficiente de capilaridade.

Tabela 1 – Características dos tijolos utilizados na confecção dos corpos de prova.

Característica	Nº cps	Resultado médio	Desv. Padrão	Norma Utilizada para a realização do ensaio	Limites / classificação de Norma
Características Geométricas (mm)	24	190 x 90 x 60	-	NBR 7170 (1983)	190 x 90 x 57mm, com tolerância de até 3 mm.
Resistência à compressão (MPa)	5 ¹	8,10		NBR 6460 (1983)	C ² .
Índice de absorção (%)	6	13	0,002	NBR 15270 (2005) – com temperatura ambiente	
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	6	10 min = 1,17 90 min. = 3,04	10 min = 0,33 90 min. = 0,95	NBR 15259 (2005)	
Coeficiente de capilaridade (g/dm ² . min ¹ / ₂)		9,9	9,96		

1 - Foram preparados 6 corpos de prova, no entanto um foi perdido durante o ensaio.

2- A norma utilizada para a realização do ensaio não apresenta classificações nem limites. Pela NBR 7170 (1983) os tijolos recebem a Classificação C que são tijolos com resistência à compressão acima de 4MPa.

As características dos tijolos utilizados nos ensaios nos mostram que a resistência à compressão é bastante alta, visto que o valor médio (8,10 MPa) é mais que o dobro da resistência mínima da maior classe de resistência à compressão (4 MPa) indicado pela norma. E que estão dentro do padrão geométrico exigido. Além dos ensaios de absorção de água por capilaridade, coeficiente de capilaridade e absorção de água inicial (AAI), foi realizado o na sequência deste último, o ensaio de dessorção, não normalizado.

Para a determinação da AAI, os tijolos foram submetidos à secagem na estufa à 107°C por 24 horas. Após retirados da estufa, as massas foram medidas e a face de menor dimensão de cada tijolo foi colocada em contato com uma lâmina de água de 3mm de altura. Após 60 segundos, as massas foram medidas novamente. O AAI é expresso em (g/193,55cm²) /min e calculado, então, a partir da fórmula 1:

Fórmula 1

$$AAi = 193,55 \times \left(\frac{\Delta p}{\text{Área}} \right)$$

Onde:

Δp = variação da massa obtida no ensaio (g);

Área = da face em contato com a água (cm²).

Na sequência deste ensaio, logo após a pesagem em 60 segundos, iniciou-se o ensaio de dessorção. Este compreendeu retirar os tijolos do contato com a água, permanecendo em temperatura ambiente, onde ocorreram as medições de massa nos tempos de 5, 10, 15, 30, 60, 120 e 240 minutos. Os resultados destes ensaios são conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Absorção inicial e dessorção dos tijolos - após contato de 1 min. com lâmina de 3mm água.

Cp	Área Bruta (cm ²)	Massa seca (g)	Massa após 1 min. Em contato com a água (g)	Massa (g) dos cps retirados da água, ao longo do tempo							AAI ((g/193,55cm ²)/min)
				5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.	120 min.	240 min.	
T1	51,54	1792	1806	1805	1804	1804	1802	1802	1801	1801	51,94
T2	51,85	1813	1821	1820	1819	1819	1818	1818	1818	1819	28,22
T3	51,91	1831	1841	1840	1839	1839	1838	1837	1837	1837	37,10
T4	52,07	1858	1865	1865	1865	1865	1864	1864	1864	1864	26,06
T5	51,44	1776	1783	1783	1782	1782	1781	1781	1781	1781	27,99
T6	51,42	1776	1783	1783	1782	1782	1781	1781	1781	1782	28,46

Através destes resultados temos como a AAI média igual a 33,29 ((g/193,55cm²)/min), com um coeficiente de variação de 0,30.

Em seguida os mesmos tijolos foram colocados submersos em água por 24h em temperatura ambiente. Após este período, repetiu-se o procedimento para a medição da dessorção, onde os tijolos permaneceram fora da água, em temperatura ambiente, e suas massas foram medidas novamente nos tempos de 5, 10, 15, 30, 60, 120 e 240 minutos. Os resultados das medições encontram-se segue na Tabela 3

Tabela 3 - Dessorção de argamassa - após 24h submersos na água.

cp	Massa seca (g)	Massa após 24h submersos (g)	Massa (g) dos cps retirados da água, ao longo do tempo						
			5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.	120 min.	240 min.
T1	1792	2018	2016	2016	2016	2016	2014	2014	2014
T2	1813	2038	2038	2038	2038	2040	2038	2036	2036
T3	1831	2060	2060	2060	2060	2062	2058	2058	2056
T4	1858	2086	2086	2086	2086	2086	2084	2082	2080
T5	1776	2004	2004	2004	2004	2004	2002	2002	2000
T6	1776	1998	1998	1998	1998	1998	1996	1996	1994

Percebe-se que, independentemente de estarem saturados ou apenas em contato com a água, os tijolos perderam água de forma lenta e gradual, como mostra a Figura 46. Chama a atenção que 240 minutos não foram suficientes para os tijolos ensaiados perdessem volume absorvido em 1 minuto de contato com a lâmina de água.

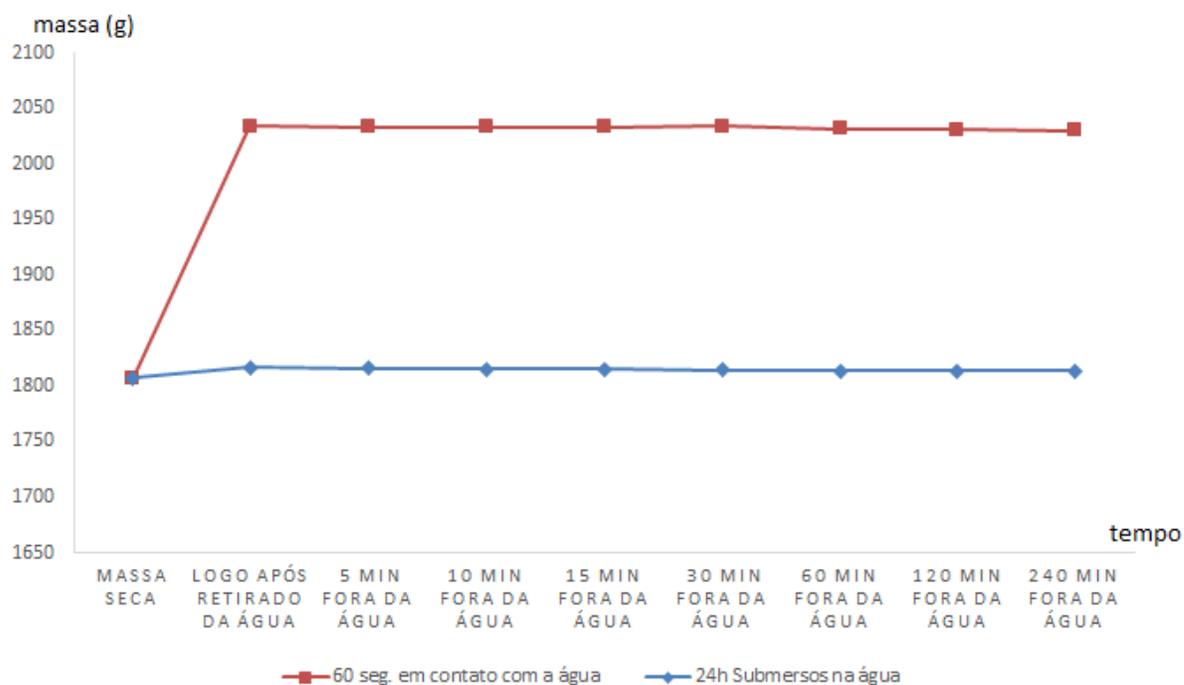


Figura 46 - Gráfico dos ensaios de dessorção dos tijolos.

4.1.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Para o assentamento dos tijolos, em todos os corpos de prova, utilizou-se uma argamassa industrializada de múltiplo uso, como já citado, com a relação água/materiais sólidos de 1,38. O fabricante informa que a argamassa é produzida com cimento Portland, agregados minerais com granulometria controlada e aditivos químicos. As características físico-mecânicas desta argamassa, determinadas em laboratório, estão apresentadas na Tabela 4 e na sequência apresentam-se os resultados obtidos no squeeze - flow.

Tabela 4 – Características físico-mecânicas da argamassa utilizada na confecção dos cps.

Característica	Nº cps	Resultado médio	Desvio Padrão	Norma Utilizada	Classificado conforme a NBR 13281 (2005) ¹
Índice de consistência (mm)		266,7		NBR 13276 (2005)	A NBR 13276 recomenda 260mm com tolerância de 5mm para mais ou para menos, quando não há determinação da relação água/materiais secos.
Densidade de massa no estado fresco (kg/cm ³)		1675,96		NBR 13278 (2005)	D3 (de 1400 a 1800 kg/cm ³)
Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/cm ³)	18	1,52	0,02	NBR 13280 (2005)	M3 (de 1,2 a 1,6 kg/cm ³)
Módulo de elasticidade dinâmico GPa	6	5,58	0,10	NBR 15630 (2008)	
Resistência à tração na flexão (MPa)	6	2,45	0,17	NBR 13279 (2005)	R4 (de 2,0 a 3,5 MPa)
Resistência à compressão (MPa)	12	4,20	0,51		P4 (de 4 a 6,5 MPa)
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	6	10 min = 0,12 90 min. = 0,26	10 min = 0,03 90 min. = 0,04	NBR 15259 (2005)	
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² . min ^{1/2})		2,2	0,2		C3 (de 2 a 4 g/dm ² . min ^{1/2})
Absorção Total (%)	3	9	0,001	NBR 15270 (2005) – utilizando a opção com temperatura ambiente	

¹ Exceto o Índice de consistência

O índice de consistência da argamassa está 1,7mm acima do recomendado pela norma. No entanto, o valor normativo de 260mm com tolerância de 5mm não é uma determinação, mas é uma orientação para argamassas onde não está determinada a relação de água/cimento (a/c) ou

água/materiais secos (a/ms). Como se trata de uma argamassa industrializada e a relação a/ms está dentro do recomendado pelo fabricante, considera-se dentro da faixa recomendada.

Além dos ensaios de absorção de água por capilaridade, coeficiente de capilaridade, comumente realizados em argamassas, foi realizado o ensaio de absorção de água inicial e total e de dessorção, exatamente como nos tijolos. Desta forma, todos os ensaios relacionados a absorção de água foram realizados tanto na argamassa quanto nos tijolos, podendo assim comparar os materiais. Os resultados do ensaio de Absorção Inicial e dessorção são conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Absorção inicial e dessorção da argamassa - após contato de 1 min. com lâmina de 3mm água.

Cp	Área Bruta (cm ²)	Massa seca (g)	Massa após 1 min. Em contato com a água (g)	Massa (g) dos cps retirados da água, ao longo do tempo.							AAI ((g/193,55cm ²)/min)
				5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.	120 min.	240 min.	
1	16,16	345,74	349,63	349,63	349,24	349,29	349,34	349,22	349,33	349,55	46,59
2	16,10	344,3	348,96	348,93	348,43	348,53	348,47	348,43	348,44	348,57	56,03
3	16,31	349,39	353,94	354,08	353,74	353,7	353,6	353,59	353,63	353,76	54,00
4	16,24	362,55	365,95	366,12	365,76	365,7	365,72	365,74	365,87	366,11	40,51
5	16,38	367,46	370,36	370,51	370,18	370,17	370,15	370,24	370,43	370,68	34,28

A média obtida a partir destes resultados é AAI média igual a 46,28 ((g/193,55cm²)/min), com um coeficiente de variação de 0,20. Na sequência, assim como nos tijolos, realizou-se o ensaio de dessorção das argamassas após manter os cps submersos por 24h. A Tabela 6 apresenta estes resultados.

Tabela 6 - Dessorção de argamassa - após 24h submersos na água.

cp	massa seca	massa após 24h submersos (g)	massa dos cps retirados da água, ao longo do tempo (g)						
			5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.	120 min.	240 min.
1	345,74	400	398	398	398	398	398	398	396
2	344,3	396	396	396	396	396	396	396	394
3	349,39	402	402	402	402	402	402	402	400
4	362,55	412	412	412	412	410	410	410	410
5	367,46	414	416	416	416	414	414	414	412

Percebe-se que, assim como nos tijolos, as argamassas perderam massa de bastante lenta e gradual, como mostra a Figura 47, sendo que também não conseguiram perder em 240 min. toda água absorvida em 60 segundos, quando em contato com uma lâmina de água de 3mm de altura.

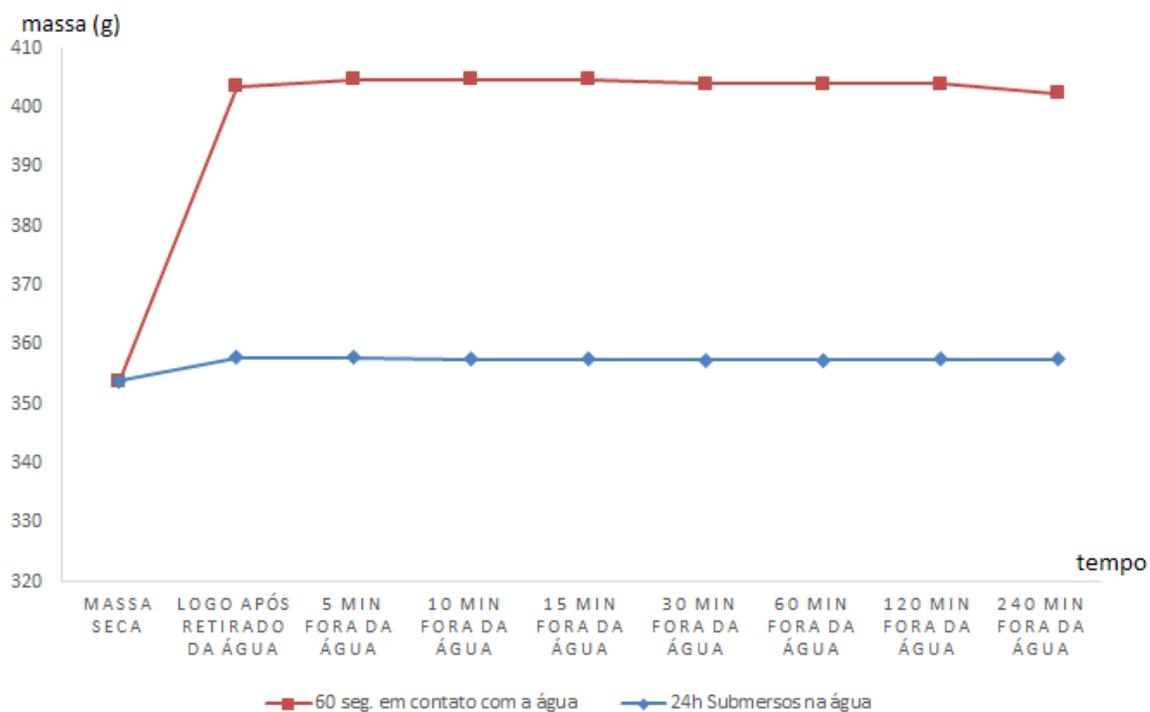


Figura 47 - Gráfico dos ensaios de dessorção média das argamassas.

O ensaio de squeeze - flow foi realizado conforme a NBR 15839 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze–flow. O resultado deste ensaio pode ser visualizado na Figura 48, expressos pelo gráfico da carga (N) versus deslocamento (mm) nos

tempos e velocidades determinados pela norma: 10 min em 0,3mm/s, 15min em 1mm/s, 60min. repete-se a velocidade de 0,3mm/s e em 65 1mm/s.

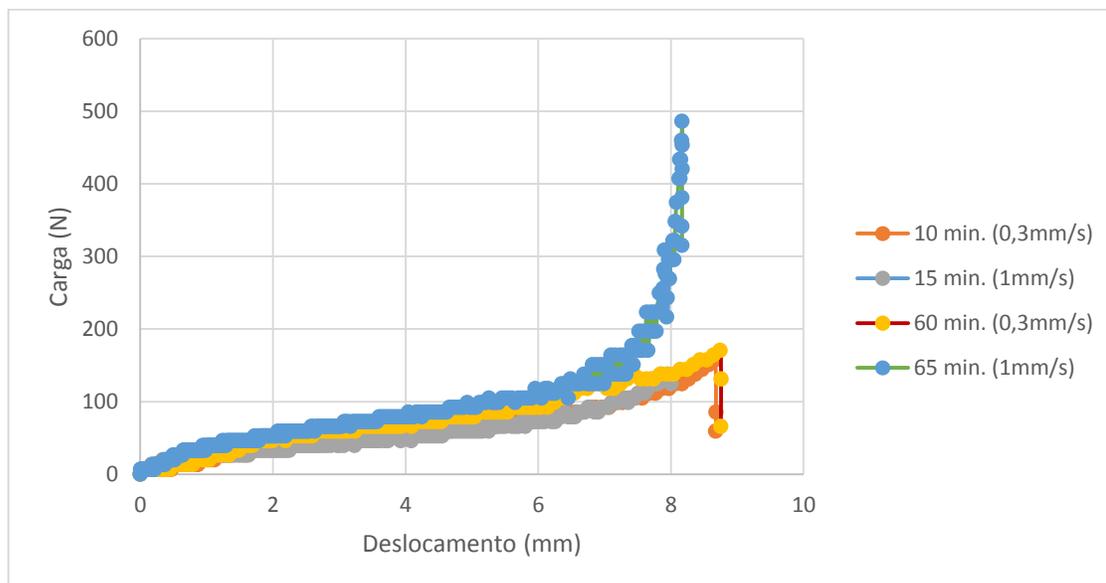


Figura 48– Ensaio de squeeze - flow da argamassa utilizada na execução dos corpos de prova para velocidades de 0,3mm/ para os tempos de 10 e 60min após a execução da argamassa e 1mm/s para os tempos 15 e 65 min.

A norma estabelece que o ensaio seja finalizado quando atingir o deslocamento de 9mm ou uma carga máxima de 1kN. Assim percebe-se que o ensaio foi finalizado devido à deformação. Também é possível observar que com o passar do tempo a argamassa exigiu maiores cargas para um mesmo deslocamento, o que já era esperado. Desta forma verifica-se que a argamassa apresenta pouca rigidez.

4.1.3 QUÍMICOS CRISTALIZANTES

Para o tratamento dos corpos de prova utilizou-se 3 cristalizantes de diferentes marcas. A caracterização foi adaptada da NBR 10908 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) - Aditivos para argamassa e concreto - Ensaio de caracterização, onde foram determinados o pH, teor de sólidos e massa específica. A Tabela 7 apresenta os resultados da caracterização e informações fornecidas pelos fabricantes.

Tabela 7– Características química e física dos produtos químicos utilizados nos tratamentos das paredes

Cristalizante	pH	Teor de Sólidos (%)	Massa Específica	Informações da FISPQ
Cristalizante 1	11,53	34,45	1,29	Silicato de potássio, metil-siliconato de potássio, hidróxido de potássio.
Cristalizante 2	12,25	27,01	1,23	Possui hidróxido de sódio, silicato de sódio, hidróxido de potássio e óxido de ferro III.
Cristalizante 3	11,40	29,71	1,22	Possui orto silicato de sódio, silicato de potássio, metil carbinol emetil siliconato de potássio.

4.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E REALIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS COM OS SISTEMAS ESTUDADOS

Inicialmente pensou-se em realizar o ensaio com um corpo de prova semelhante ao do estudo apresentado por Freitas, Torres e Guimarães. (2008). Como vemos na Figura 49, os autores realizaram ensaios em tijolos maciços e em tijolos furados. Como os fabricantes dos produtos disponíveis no mercado nacional a serem ensaiados, em sua maioria indica a utilização em tijolos maciços, optou-se por apenas utilizar este material. A base de argamassa é o meio de contato do cp com a água.

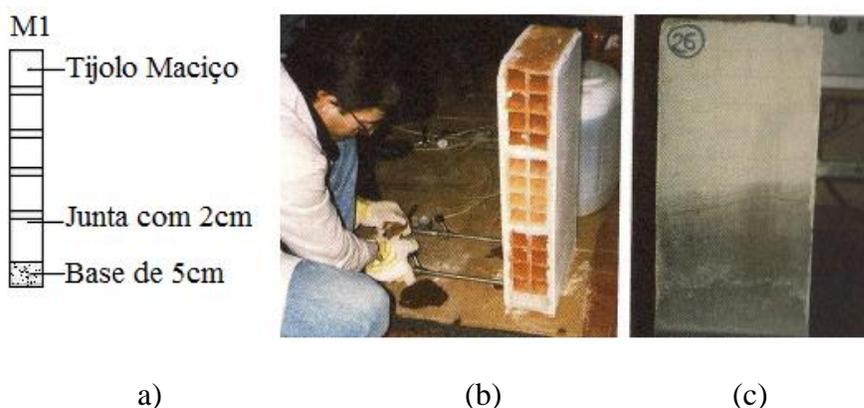


Figura 49 - Corpo de prova utilizado como modelo. Fonte Freitas, Torres e Guimarães. (2008).

No entanto o modelo de Freitas, Torres e Guimarães não produz as juntas verticais intercaladas, como em uma alvenaria real. Em uma pesquisa mais recente, Rirsch e Zhang (2010), estudando produtos contra a umidade ascensional, utilizaram um modelo semelhante, no entanto com 6

fiadas de tijolos e largura de 3 tijolos, colocando as juntas verticais de argamassa no modelo de corpo de prova (Figura 50).



Figura 50 - Corpo de prova utilizado por Rirsch e Zhang (2010). Fonte: Rirsch e Zhang (2010).

Para esta pesquisa, a dimensão adotada em largura e altura foi a maior possível considerando as limitações de que deveriam ser suportáveis de duas pessoas conseguirem carregar, assim procurando um limite de até 50kg. Para ficar mais próximo a uma situação real, idealizou-se um corpo de prova onde existissem as juntas verticais de argamassa. A ainda com a preocupação com a massa total do cp, utilizou-se 2,5 tijolos por fiada. A altura foi limitada pela massa total do corpo de prova, pelos motivos já mencionados, resultando num cp com 8 fiadas de tijolos (50cm de altura). A base de 5cm de altura, sugerida por Freitas, Torres e Guimarães (2008), foi mantida

Todos os corpos de prova foram executados pelo laboratorista, que possui experiência em obras. A seguir é explicado como foi construído o protótipo e como se chegou ao modelo final dos corpos de prova.

4.2.1 PROTÓTIPO

Antes de iniciar o ensaio propriamente dito, com a intenção de prever possíveis problemas, diminuir a variabilidade onde for possível e evitar desperdício de materiais, foi realizado um protótipo para testar a metodologia.

Conforme as recomendações dos fabricantes, os produtos devem ser aplicados com um funil e mangueira. No entanto, paralela a esta pesquisa, foi acompanhado o estudo de Rodrigues (2014) que tinha objetivos semelhantes ao deste estudo, utilizando metodologia diferente. Rodrigues (2014) constatou que a utilização de funis para aplicação dos produtos é inadequada pois, desta forma, os produtos extravasaram no momento da aplicação, sendo necessário substituir por

aplicações com seringas. Conforme o autor, o modo de aplicação recomendado pelos fabricantes ainda é pouco prático, considerando grandes extensões de aplicação, e pode causar desconforto aos operadores devido à postura inadequada por tempo prolongado.

Desta forma, constata-se ainda que, se houver extravasamento do produto no momento da aplicação não há possibilidade de controlar a quantidade de produto introduzido nas paredes. Uma alternativa, ainda não existente no mercado nacional até o início desta pesquisa, seriam aplicadores conforme a Figura 51 que possivelmente facilitariam o processo.

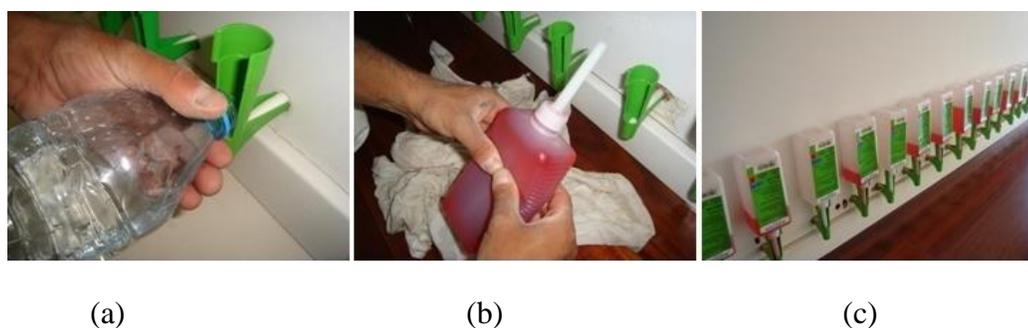


Figura 51 - Aplicador específico para produtos químicos cristalizantes. (a) utilização para a saturação com água (b) colocação do produto químico (c) imagem dos produtos químicos após 48h de aplicação. Fonte: KOSTER.

Para evitar os problemas mencionados, utilizou-se equipos e frascos produzidos para utilização em alimentação enteral (realizada através de sondas quando um paciente não consegue mais alimentar-se pela boca), como mostra a Figura 52.



Figura 52 – Dispositivos para aplicação do cristalizante nos furos realizados.

Entre as vantagens da utilização destes equipamentos está o controle da velocidade de aplicação através do regulador, que de forma mais lenta garante o não extravasamento do produto no orifício, e o baixo custo. Alfano et al. (2006) afirmam que a alimentação lenta do produto na parede pela gravidade, permite que este venha a penetrar completamente na estrutura porosa dos materiais como argamassa, tijolo e pedra, sendo o tratamento mais indicado nas paredes de pedras de baixa porosidade. A seguir estão apresentadas as etapas realizadas no protótipo ensaiado.

- a) execução da base do corpo de prova (cp) : com a finalidade de permitir que a água ascenda pelo cp foi construída uma base de argamassa industrializada, relação água/cimento de 0,19, com dimensões de 56x13x9 cm, conforme pode ser visto na Figura 53.



(a)

(b)

Figura 53 - Execução da base de argamassa do corpo de prova: (a) acabamento superficial; (b) vista geral.

- b) execução da mini parede do corpo de prova: 15 dias após a execução da base foi executada sobre esta a uma mini parede. Este conjunto compôs o cp ensaiado (Figura 54).



(a)

(b)

Figura 54 - Corpo de prova executado para ensaio prévio. (a) vista em perspectiva; (b) vista frontal.

- c) simulação de umidade ascensional: Após 20 dias da confecção do mini prisma, foi medida a massa do cp e realizadas imagens com câmera termográfica enquanto ainda seco. Após estas medições, o corpo de prova foi colocado em uma caixa com água de forma que a base de argamassa ficasse imersa (Figura 55). O cp foi conservado desta forma, com o cuidado de manter o nível de água que estava em contato com a base do cp até ser detectada a estabilização da massa, que ocorreu entre o 7º e 8º dia. Para estas medições, o cp era retirado da caixa com água e, ante da medição da massa, rapidamente enxugado para remover o excesso de água. Após a determinação da massa, foram realizadas imagens com a câmera termográfica.



Figura 55 – Corpo de prova colocado imerso dentro de água, o qual fica em contato apenas com a argamassa.

- d) realização do tratamento com cristalizante: Depois de detectada a estabilização da absorção de água iniciou-se o tratamento, conforme recomendações do fabricante 3 (até o momento era o único dos produtos que estava disponível para a pesquisa). Este consistiu em perfurar a parede com uma broca de meia polegada (diâmetro especificado pelo fabricante) em um ângulo de 45°, saturar os furos com água e, logo após, aplicar o produto. Para garantir o ângulo e a altura da perfuração recomendados pelo fabricante, utilizaram-se dois gabaritos de madeira, ambos com mesmo ângulo, mas com alturas diferentes. O fabricante recomenda que a aplicação seja realizada com um funil adaptando uma mangueira na extremidade, no entanto foi percebido que, desta forma, o produto vazava e não teria um controle de quantidade de produto efetivamente aplicado. A fim de facilitar a aplicação, no lugar dos funis foram utilizados frascos de alimentação enteral, e da mangueira, os equipos que encaixam perfeitamente nos frascos, sem riscos de vazamento. A Figura 56 mostra os materiais utilizados para o ensaio.

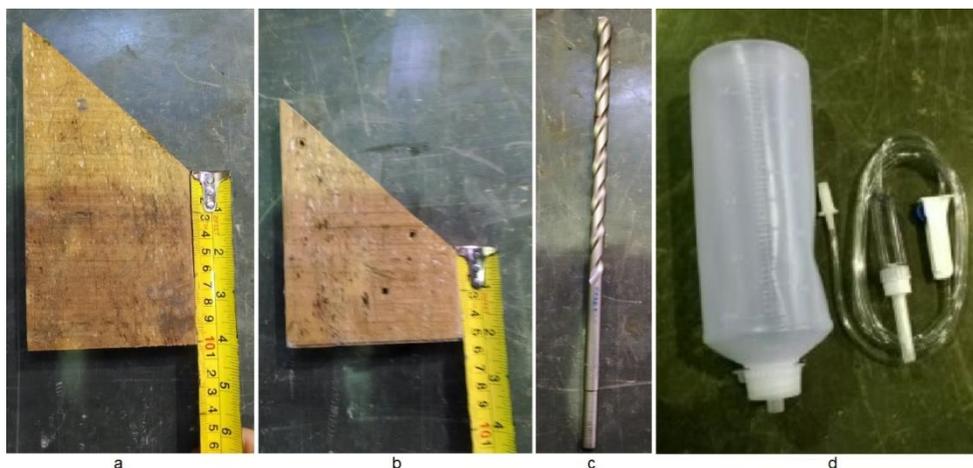


Figura 56 - Materiais utilizados para a execução do ensaio. a) Gabarito de madeira para garantir a perfuração à 45° e altura de 10 cm a partir da base; b) Gabarito de madeira para garantir a perfuração à 45° e altura de 5 cm a partir da base; c) Broca de 12mm utilizada para a perfuração; d) Frasco e equipo para aplicação do cristalizante.

- e) aplicação do cristalizante na parede (Figura 52): É possível observar que, da forma como foi realizado o ensaio, controlou-se através do equipo a velocidade de aplicação do produto e pausá-la quando for conveniente. O consumo do material foi conforme o indicado pelo fabricante, que fornecia valores em massa por metro linear, conforme a espessura da parede. As quantidades calculadas foram divididas entre os frascos e aplicados nos furos. Após 24 horas, como recomendado pelo fabricante, repetiu-se a aplicação.



Figura 57 - Corpo de prova logo após a aplicação do produto cristalizante nas perfurações.

- f) fechamento dos furos: após a repetição da aplicação foi realizado o fechamento dos furos com argamassa industrializada. Posteriormente ocorreu o acompanhamento da massa dos cps.

Durante a execução deste protótipo, foram detectados alguns problemas, como o descolamento entre os tijolos e a argamassa de assentamento, como mostra a Figura 58, durante as medições de massa.

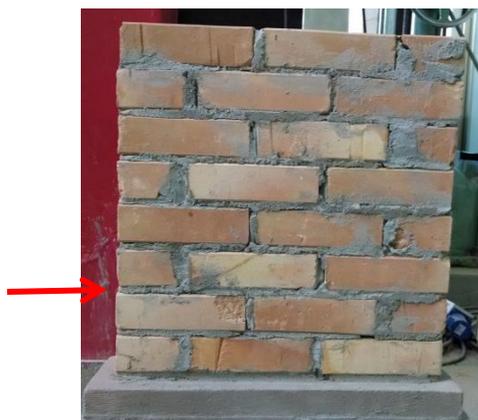


Figura 58 - Descolamento da argamassa de assentamento e tijolo, ressaltado pela seta.

Outra dificuldade encontrada foi na movimentação do corpo de prova para as medições de massa e realização de imagens. Além disso, no momento da perfuração da parede a base de argamassa de apoio da parede não suportou os esforços e rompeu os tijolos também quebraram ao redor das perfurações. A Figura 59 mostra o aspecto do corpo de prova após as perfurações.

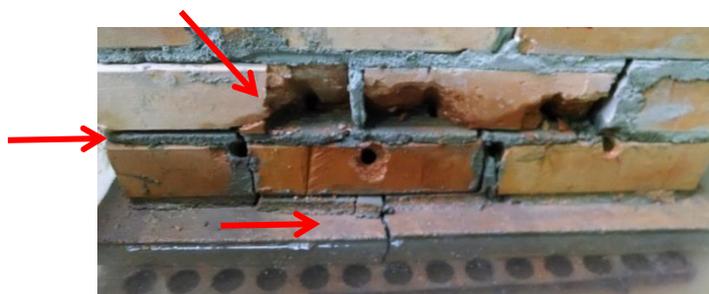


Figura 59 – Detalhe da fissura na base de argamassa de apoio da parede, da argamassa de assentamento descolada dos tijolos e tijolos quebrados pela perfuração.

Para corrigir tais problemas, algumas alterações foram feitas na base de argamassa. A argamassa, foi substituída por uma de maior resistência. Colocou-se uma armadura para absorver os esforços de tração. E para facilitar a movimentação do corpo de prova, foram colocadas barras de aço passando na base e saindo pela lateral do cp, ficando assim um local para manuseio do mesmo, como mostra a Figura 60.

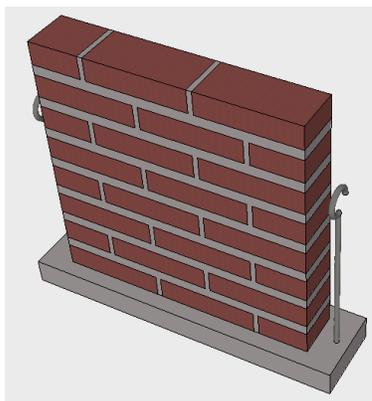


Figura 60 - Croqui do projeto do corpo de prova com melhorias para a sequência da pesquisa.

4.2.2 EXECUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA APÓS MODIFICAÇÕES

Para verificação da eficácia dos produtos cristalizantes foram confeccionados 12 corpos de prova em forma de pequenas paredes (Figura 61). Para cada corpo de prova moldou-se uma base de argamassa armada de 5cm de altura que curou por 21 dias. Sobre esta base foram executadas 8 fiadas de tijolos, cada fiada com 2 tijolos e meio. Junto à argamassa armada foram colocados ganchos para facilitar o manuseio das paredes.

Em diversos casos, o contato da parede com o solo úmido se dá apenas na fundação feita por materiais cimentícios como concreto. A opção pela argamassa se deu pela característica de, geralmente, ser mais permeável que o concreto, assim acelerando o processo de ascensão da água no ensaio. Além disso, também foi escolhida por ter menor massa. Como era necessário manusear os cps para a medição da massa e captação de imagens, a maior leveza era uma característica necessária.

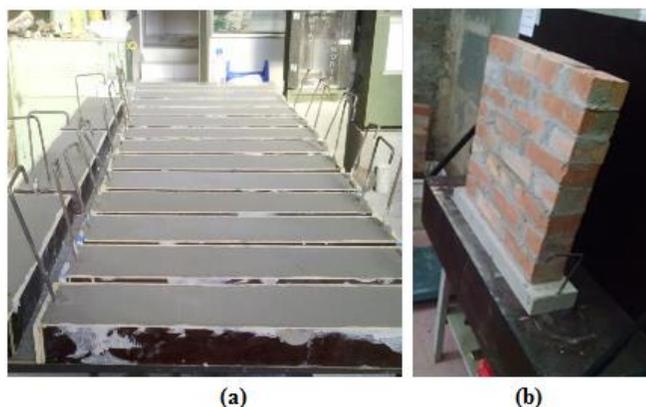


Figura 61 – (a) vista geral das bases dos corpos de prova (b) corpo de prova finalizado.

4.2.3 TRATAMENTO COM PRODUTOS CRISTALIZANTES

Para realização do experimento foi feita uma busca no mercado nacional por produtos químicos que bloqueassem a umidade ascensional através da introdução por gravidade. Até o início do programa experimental foram encontrados três produtos cristalizantes, conforme as características já apresentadas.

A aplicação dos produtos seguiu a orientação dos fabricantes. O fabricante do cristalizante 1 recomendou que fossem feitas perfurações alinhadas horizontalmente, esta a 5cm do piso, com furos formando ângulos de 30° a 45° e afastados até 8cm entre si. O fabricante do cristalizante 2 também especificou a aplicação em uma única linha horizontal, com furos distanciados até 20 cm entre si e a 20cm do piso. Por último, o fabricante do cristalizante 3, diferentemente dos anteriores, recomendou que fossem feitas duas fileiras de furos, uma a 10cm e outra a 20cm do piso e com uma distância máxima de 15cm entre os furos de uma mesma fileira. As perfurações para a aplicação dos cristalizante 1, 2 e 3 estão ilustradas respectivamente na Figura 62, na Figura 63 e na Figura 64.

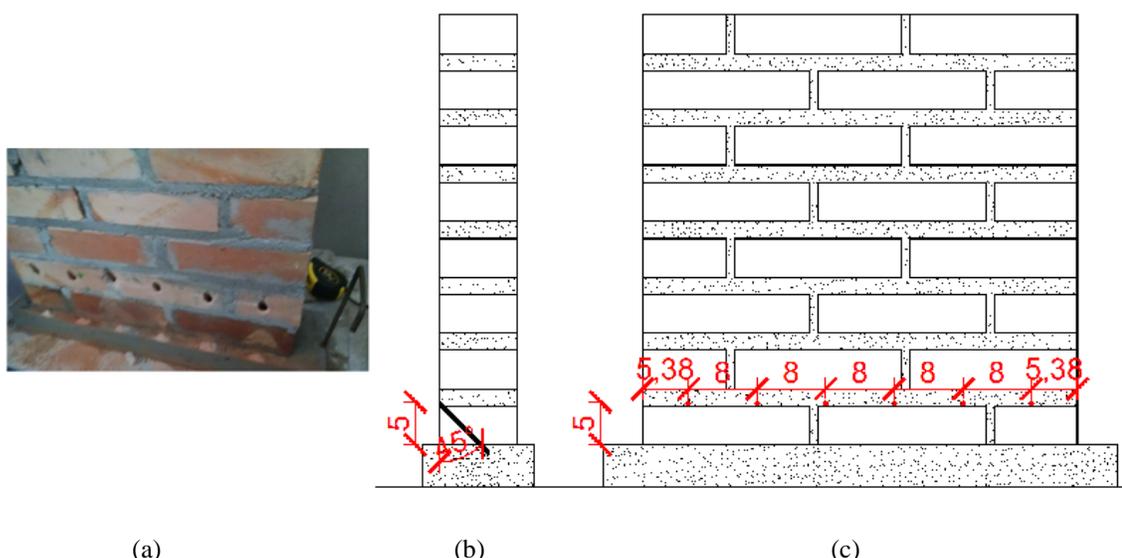
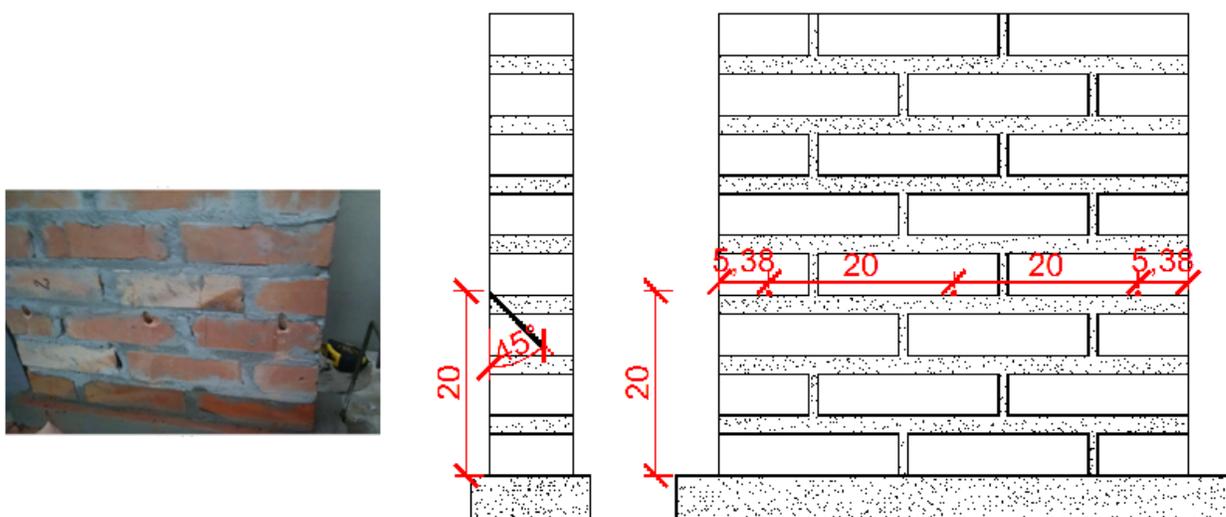
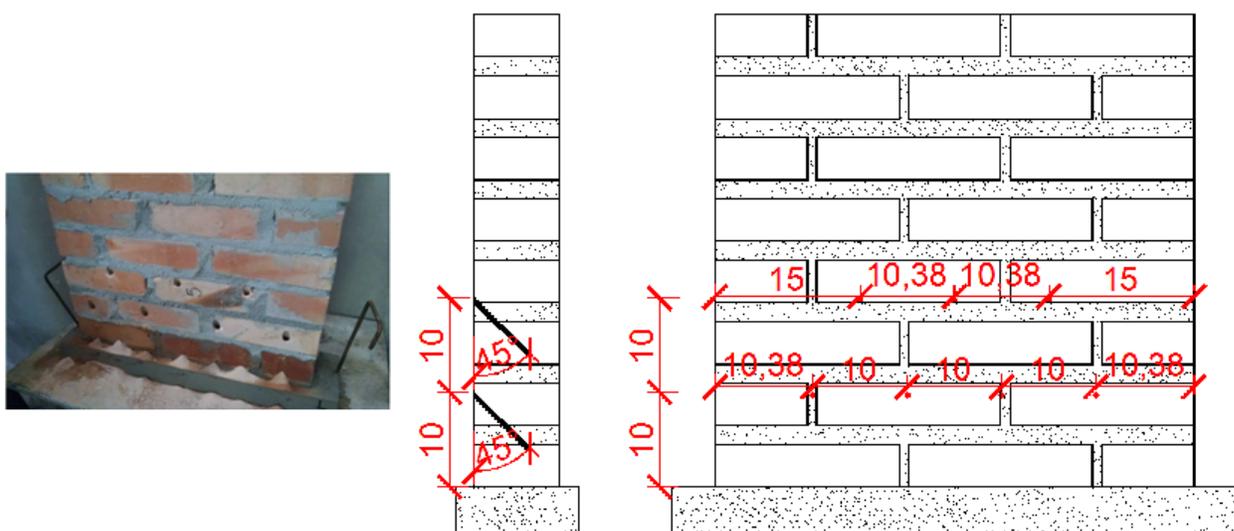


Figura 62– Aplicação do cristalizante 1 (a) imagem fotográfica; (b) corte; (c) vista.



(a) (b) (c)
 Figura 63 – Aplicação do cristalizante 2 (a) imagem fotográfica; (b) corte; (c) vista.



(a) (b) (c)
 Figura 64 – Aplicação do cristalizante 3 (a) imagem fotográfica; (b) corte; (c) vista.

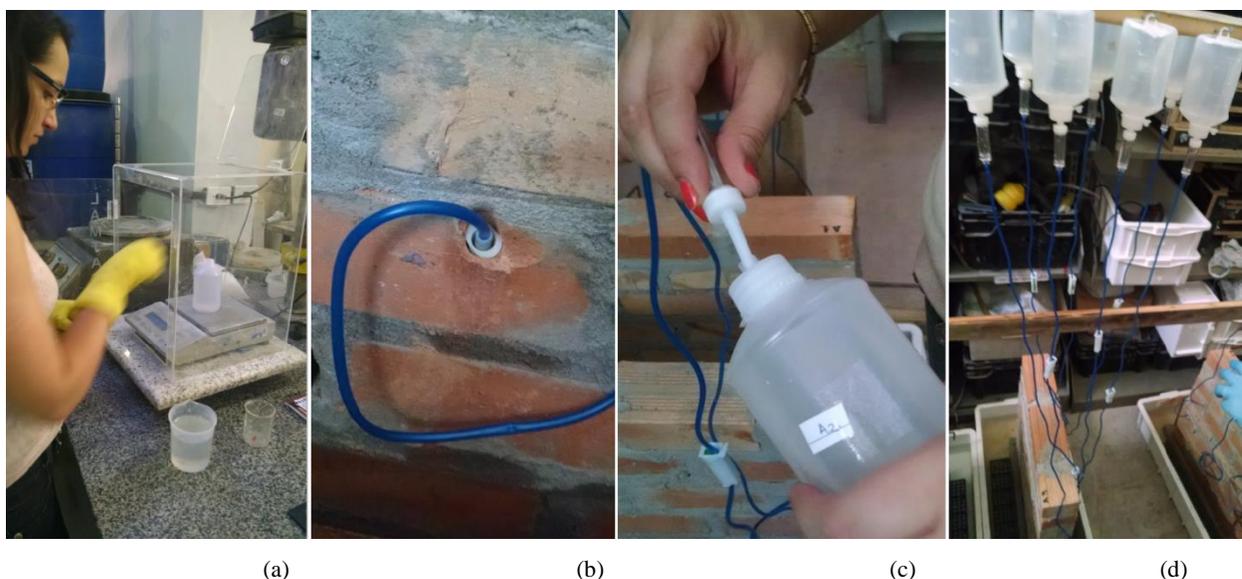
Para garantir a inclinação constante para todos os furos, utilizou-se um apoio. O seu uso pode ser visualizado na Figura 65.



(a)

Figura 65 - Perfuração à 45.

Se o tempo exerce influência no espalhamento dos produtos, então é necessário utilizar equipamentos como os empregados neste trabalho (equipos e frascos) no lugar de funis, pra administrar o volume aplicado no tempo correto. A Figura 66 mostra o passo a passo da etapa de aplicação do produto.



(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 66 - Aplicação dos produtos nos cps. (a) pesagem do material; (b) colocação do equipo no orifício; (c) colocação do equipo no frasco; (d) aplicação do produto na parede de forma controlada.

Calculou-se a quantidade de produto por orifício, sendo para o 125g para o cristalizante 1, 250g para o cristalizante 2 e 80g (40 por dia) para o cristalizante 3. Em cada frasco foi colocada a

quantidade correta a ser aplicada. Após esta etapa inseriu-se a ponta do equipo (mangueira) nos orifícios e posteriormente perfurou-se o frasco com a ponta do equipo, como procedem na área da saúde. Esta perfuração na hora, com a própria ponta, colabora para o não vazamento do produto neste local. Então se pendurou os frascos para que a ação gravitacional agisse conduzindo os produtos nas paredes.

Durante todo o período, como dito anteriormente, manteve-se 3 cps de referência, fora da água, onde também se registrou a massa destes. No final do ensaio, estes cps foram colocados em estufa por 3 dias, à $50^{\circ}\text{C} + 5$, para determinar a massa seca. Assim foi possível saber o percentual de massa úmida que não provinha da umidade ascensional e descontar essa porcentagem dos corpos de prova. Nos valores apresentados nos resultados já estão descontados este percentual.

4.3 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTOS UTILIZADOS

A avaliação do tratamento através do uso dos cristalizantes nas paredes foi feita, além da medição das massas das paredes nos momentos descritos anteriormente, através de imagens termográficas. Após todas as medições de massa também foi realizado o ensaio de gravimetria. Estes métodos são descritos a seguir.

4.3.1 MEDIÇÃO DE MASSA

O ensaio para avaliação da eficiência do tratamento de paredes com umidade ascensional através da introdução de produtos cristalizantes pela gravidade consistiu basicamente em:

- a) medição da massa das paredes realizadas no 28º dia após a execução das mesmas;
- b) colocação da base de argamassa na água, de forma que esta ficasse completamente imersa(aproximadamente 5 cm), como mostra a Figura 67;

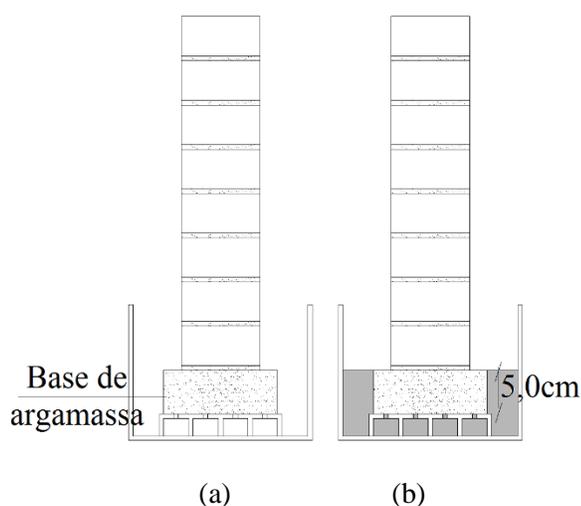


Figura 67 - (a) parede seca; (b) parede com a base em contato com a água

- c) avaliação da estabilização da massa das paredes. Esta ocorria em média no 8º dia após o contato com a água. Optou-se por aguardar 14 dias para que todas as paredes estivessem estáveis;
- d) medição da massa das paredes no 14º dia. Com os valores de massa antes e depois da colocação da base em contato com a água, foi possível calcular a taxa de absorção de água;
- e) tratamento das paredes conforme as recomendações dos fabricantes;
- f) manutenção da base das paredes imersas na água durante 56 dias, como ilustrado na Figura 68. Houve medições de massa aos 7, 14 e 28 dias após o tratamento. Alguns fabricantes afirmam que a parede deve secar entre 30 e 60 dias;

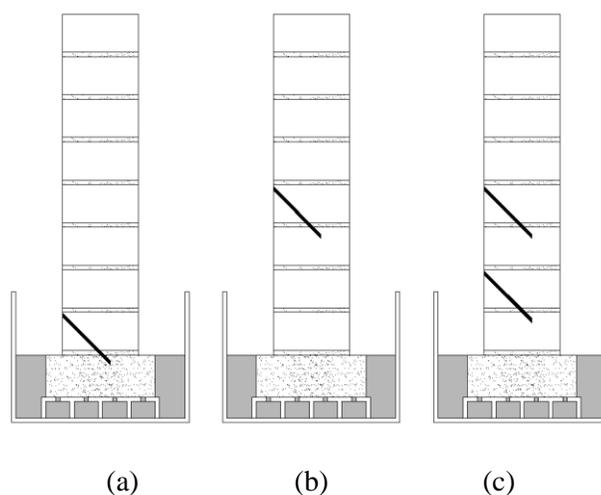


Figura 68 – Manutenção das paredes com a base em contato com a água, com os produtos já aplicados conforme as recomendações de cada fabricante. (a) parede com cristalizante 1; (b) parede com cristalizante 2; (c) parede com cristalizante 3.

g) secagem das paredes em temperatura ambiente até a estabilização da massa;

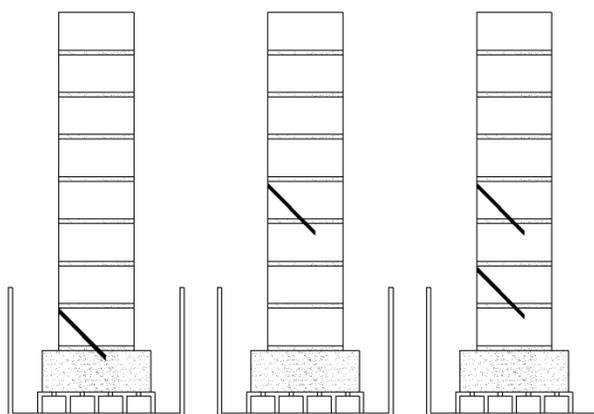


Figura 69 – Remoção do contato da base das paredes com a água. (a) parede com cristalizante 1; (b) parede com cristalizante 2; (c) parede com cristalizante 3.

- h) medição da massa das paredes seguida da repetição da colocação da base de argamassa em contato com a lâmina de água, como ilustrado anteriormente na Figura 68. Após 21 dias mediu-se a massa novamente. Com estes valores calculou-se a taxa de absorção da água após submetidas ao tratamento;
- i) após todas as etapas, as paredes moldadas para controle foram secas em estufa, assim foi possível mensurar percentualmente a média da umidade nas paredes devido à umidade do ar;

Com os resultados das medições das massas secas e úmidas junto as dimensões das minis paredes, calcula-se a taxa de absorção das paredes. Esta taxa é calculada pela diferença entre a massa da parede seca e massa da parede úmida, dividida pela área de contato entre a parede e a base de argamassa (local onde inicia a ascensão da água), como consta na fórmula 2:

Fórmula 2

$$\text{Taxa de absorção} = \frac{mu - ms}{\text{área}}$$

Onde:

mu: massa da parede úmida;

ms: massa da parede seca

área: área de contato (da 1ª fiada de tijolo com a umidade)

4.3.2 IMAGENS TERMOGRÁFICAS

Para esta técnica, explicada na revisão bibliográfica desta pesquisa, foi utilizada a câmera termográfica modelo FLIR T400, que capta a radiação infravermelha na resolução espectral de 7,5 μm até 13 μm no infravermelho. Conforme o Manual do utilizador (FLYR SYSTEM CO, 2009), a sensibilidade térmica da câmera é de 0,05 $^{\circ}\text{C}$ e o campo de visada da câmera é 25 $^{\circ}$ x 19 $^{\circ}$ para uma distância mínima de 0,4 m.

Todas as imagens foram feitas em uma distância de 2m da parede. Para minimizar a influência do entorno na imagem, foi executado um plano de fundo em compensado de madeira na cor preta, abrangendo todo o campo de visada para a distância determinada. Dessa forma, o plano de fundo se torna mais homogêneo, ficando mais nítida a observação do cp.

Para a captação das imagens, devem ser introduzidos vários parâmetros que influenciam na obtenção da mesma. No momento da captação das imagens foram utilizados os seguintes parâmetros:

- a) emissividade - 0,81
- b) temperatura aparente refletida – variada, determinada no momento
- c) distância entre o objeto e a câmara – 2m
- d) umidade relativa - variada, determinada no momento
- e) temperatura da atmosfera -variada, determinada no momento

Através do software, primeiramente, foram determinadas as temperaturas máximas e mínimas das paredes com diferentes cristalizante durante todo o período de ensaio, sendo possível colocá-las em uma mesma escala de cores, podendo comparar as imagens visualmente.

Num segundo momento, as imagens foram analisadas com a escala no modo automático, afim de mostrar com maiores contrastes as áreas de interesse, pois a escala padronizada, em alguns casos, tornava a imagem muito homogênea, não mostrando os pontos onde ainda poderia haver algum resquício de umidade.

Após colocar as imagens no modo automático foram traçadas áreas isotérmicas, utilizando o software, e exportadas para o Excel a área das fiadas da parede do cp (sem a base de argamassa) onde foi possível quantificar a área demarcada. Essa quantificação foi apresentada através de

porcentagem, comparando a quantidade de pixels na faixa de temperatura determinada com a quantidade de pixels totais. Ressalta-se que esta quantificação é apenas uma tendência. Como a câmera fornece o registro da temperatura da superfície da parede, não informando o teor de umidade nem dados da parede em maiores profundidades, estas imagens colaboram, mas não são decisivas em um diagnóstico.

4.3.3 GRAVIMETRIA

Após o fim das medições de controle de massa e de imagens termográficas realizou-se o ensaio de gravimetria. A metodologia empregada foi a de retirada de amostra com serra copo de forma lenta, imediatamente pesá-la e posteriormente colocar em estufa à $50^{\circ}\text{C} \pm 5$, até obter constância de massa. A temperatura foi determinada de forma a não permitir que os produtos cristalizantes volatilizassem. As amostras foram retiradas em 3 profundidades (nas duas superfícies da alvenaria, uma de cada lado do cp, e na parte central da alvenaria) e 4 alturas, como apresentado na Figura 70 e descrito a seguir:

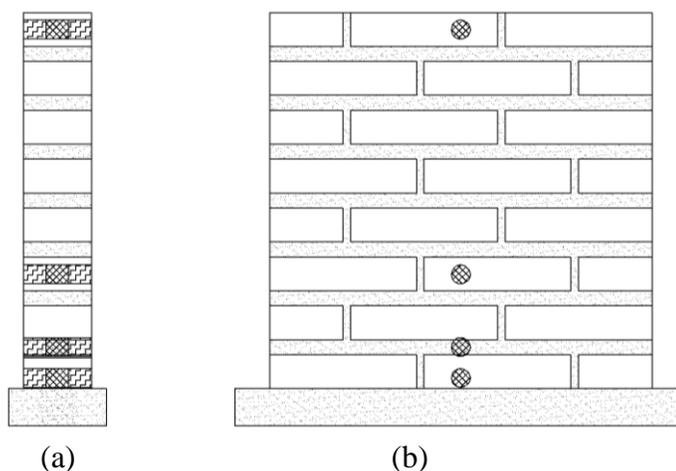


Figura 70 - Pontos onde foram realizadas gravimetrias no cp. (a) parede em corte, mostrando as 3 profundidades onde foram retiradas as amostras (na superfície dos dois lados e no centro); (b) vista frontal do cp mostrando a localização das alturas onde foram retiradas as amostras.

- a) rente à base (na primeira fiada), onde é o ponto mais próximo à fonte de umidade;
- b) entre as duas primeiras fiadas, já que foi detectado nas imagens termográficas que esta é a área de transição entre os maiores contrastes de cor. A Figura 71 ilustra as áreas mais escuras, que são das superfícies mais frias,

correspondendo às áreas mais úmidas, e as áreas mais claras, que são mais quentes, que corresponde mais secas;

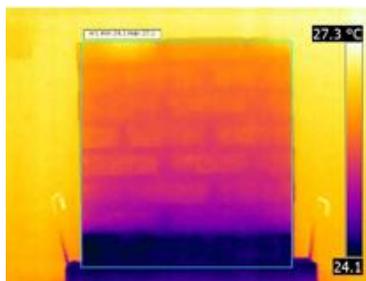


Figura 71 - Imagem termográfica demarcando as áreas mais frias e mais quentes.

- c) na terceira fiada, onde já não estava mais demarcada a mancha de umidade na imagem termográfica;
- d) na última fiada, o ponto visualmente mais afastado da zona de umidade.

Os teores de umidade são calculados conforme a fórmula 2, e expressos em porcentagem (%):

Fórmula 3

$$\text{Teor de umidade} = \frac{mu - ms}{mu}$$

Onde:

mu: massa da paredes úmida

ms: massa da parede seca

4.3.4 ANÁLISE DE CUSTOS

Para ter uma análise de custos, pesquisou-se os valores de cada produto e o consumo destes para uma parede, considerando uma parede com 90mm de espessura (com a mesma espessura dos cps deste ensaio), em um trecho de 1m de comprimento. Estes dados podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8 - Custos dos produtos cristalizantes/m linear de parede de espessura de 90mm

Cristalizante	Volume da embalagem (l)	Valor (R\$)	Consumo1 (l/m)	Custo (R\$/m)
1	1	54,00	1,25	43,20
2	25	485,00	1,25	24,25
3	4,3	62,90	1	14,63

1 - Consumo apresentado indicado pelos fabricantes para uso em paredes simples de tijolos maciço (10 cm de espessura)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para calcular as taxas de absorção das paredes, antes e após os tratamentos com cristalizante, foram registradas as massas com a finalidade de calcular as taxas de absorção de cada cp. Os resultados das medições de massa, já descontando a porcentagem relacionada à umidade provinda do ar são apresentados a seguir, na Tabela 9.

Tabela 9 – Variação da umidade nos corpos de prova submetidos a tratamento com produtos distintos¹.

		Secas/ Sem tratamento		Úmidas/ Com tratamento				Secas/ Com tratamento	Úmidas/ Com tratamento
		Valores utilizados para calcular a 1ª taxa de absorção						Valores utilizados para calcular a 2ª taxa de absorção	
CP	Área de contato (m ²)	28 dias de cura após a confecção (kg)	14 dias de contato da base com a água (kg)	7 dias do tratamento (kg)	14 dias do tratamento (kg)	28 dias do tratamento (kg)	56 dias do tratamento (kg)	7 dias secando (kg)	21 dias de contato da base com a água (kg)
1A	0,04 4	50,98	52,30	52,20	52,47	52,44	52,37	52,20	52,75
1B	0,045	53,25	54,59	54,37	54,66	54,37	54,30	54,45	55,04
1C	0,045	53,53	54,57	54,43	54,32	54,17	54,20	54,20	54,49
2A	0,045	51,65	53,09	52,93	53,16	53,18	53,11	53,00	53,60
2B	0,044	51,55	52,97	52,75	52,93	52,78	52,77	52,75	53,45
2C	0,045	52,95	53,79	53,84	53,67	53,53	53,51	53,15	53,85
3A	0,045	52,14	53,58	53,52	53,76	53,67	53,51	53,45	54,05
3B	0,045	51,55	52,77	52,46	52,64	52,39	52,37	52,40	52,70
3C	0,044	51,58	52,55	52,46	52,34	52,14	52,12	52,20	52,50

1 - Os corpos de prova A, B e C possuem mesmas características, denominados assim apenas identificação. Os números que acompanham as letras são referentes aos cristalizantes utilizados. Os cps 1A, 1B, e 1C foram utilizados para a aplicação do cristalizante 1. Os cps 2A, 2B, e 2C foram utilizados para a aplicação do cristalizante 2. Os cps 3A, 3B, e 3C foram utilizados para a aplicação do cristalizante 3.

Com estes resultados foi possível calcular a taxa de absorção das paredes.

As taxas de absorção, apresentadas na Tabela 10, foram calculadas para os dois momentos descritos no item 4.2, conforme segue:

- a) 1ª Taxa de absorção dos cps íntegros, sem tratamento. Medição da massa antes colocação da base das paredes em contato com a água (massa seca) e medição da massa 14 dias após o contato da base de argamassa com a água (massa úmida);
- b) 2ª Taxa de absorção dos cps após tratamento. Medição da massa após as paredes ficaram secando por 7 dias (massa seca) e medição da massa após 21 dias do novo contato da base de argamassa com a água. Não houve possibilidade de ocorrer medição aos 14 dias devido ao não funcionamento do laboratório neste período pelo feriado nacional.

Tabela 10 - Taxas de absorção das paredes antes e após o tratamento com o cristalizante 1

CP	1ª taxa de absorção calculada em l/m ² ANTES DO TRATAMENTO		Cristalizante	2ª taxa de absorção calculada em l/m ² APÓS O TRATAMENTO		Redução média (%)
1A	30,10	Média de 27,47	1	12,44	Média de 10,73	61
1B	29,37			13,12		
1C	23,22			6,64		
2A	32,24	Média de 27,47	2	13,41	Média de 14,96	46
2B	32,32			15,98		
2C	18,62			15,49		
3A	32,09	Média de 27,47	3	13,27	Média de 8,93	67
3B	27,25			6,72		
3C	22,03			6,79		

Ao analisarem-se os dados percebe-se que nenhum dos cristalizantes chegou a barrar 100% da ascensão da umidade, mas verificou-se um decréscimo considerável na taxa de absorção desta umidade. Também se verifica que a umidade nos cps onde se utilizou o cristalizante 1 reduziram para 39% do valor inicial, o cristalizante 2 para 54% e o cristalizante 3 para 33%.

Com a finalidade de verificar se estatisticamente estas reduções foram diferentes, realizou-se análise de variância (ANOVA) com 1 fator controlável em 4 níveis, quais sejam:

- a) taxa de absorção dos cps sem cristalizante
- b) taxa de absorção dos cps com cristalizante 1
- c) taxa de absorção dos cps com cristalizante 2

d) taxa de absorção dos cps com cristalizante 3

A ANOVA, exposta na Tabela 11, confirma que estes fatores são significativos, ou seja, existe uma diferença significativa entre os resultados.

Tabela 11 - ANOVA comparando a absorção das paredes na situação: sem cristalizante, com cristalizante 1, com cristalizante 2, com cristalizante 3.

Fonte	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Médias Quadradas	Teste F	Probabilidade de Ocorrência	Significativo
CRISTALIZANTE	1199,60	3,00	399,87	21,40	0,00	SIM
RUÍDO	261,58	14,00	18,68			
TOTAL		18				

Para verificar se há diferença entre grupos, realizou-se a diferença entre médias de absorção utilizando um limite de decisão frequente, de 3 vezes o valor de S_x (S_x é a média quadrada do ruído dividida pelo número de variáveis). Não há diferença significativa entre os produtos cristalizantes. Porém ao comparar com as amostras sem os produtos, há uma grande redução da taxa de absorção de água, como nos mostra a Figura 72.

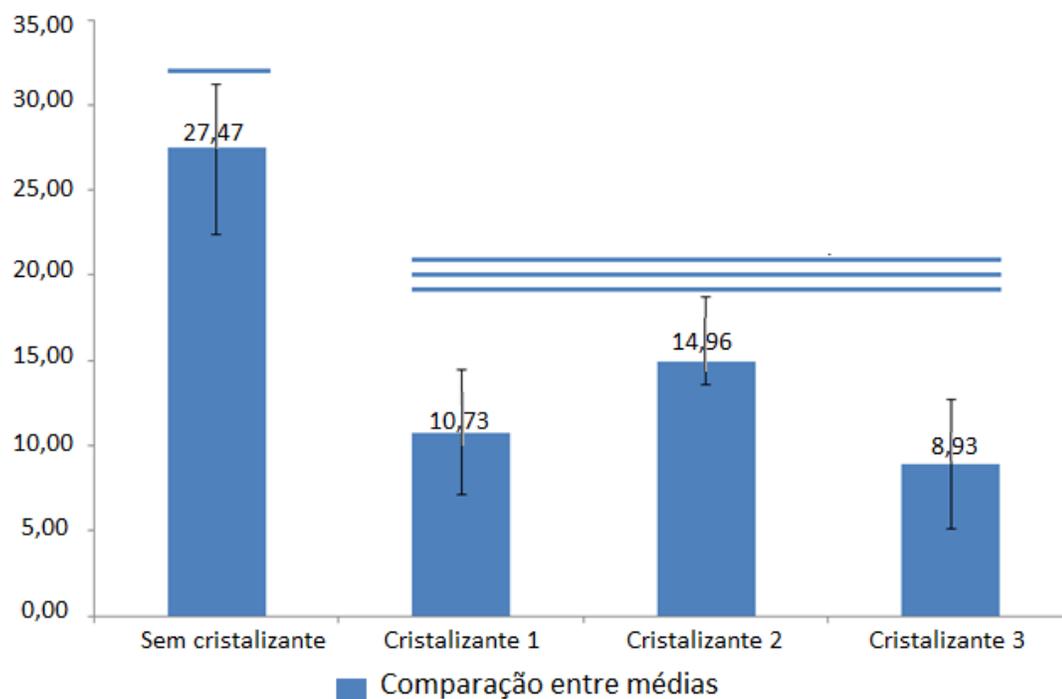
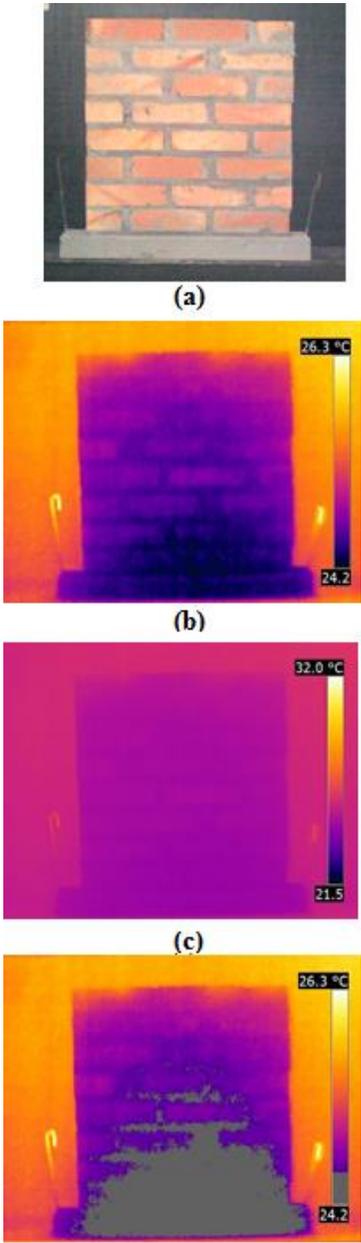
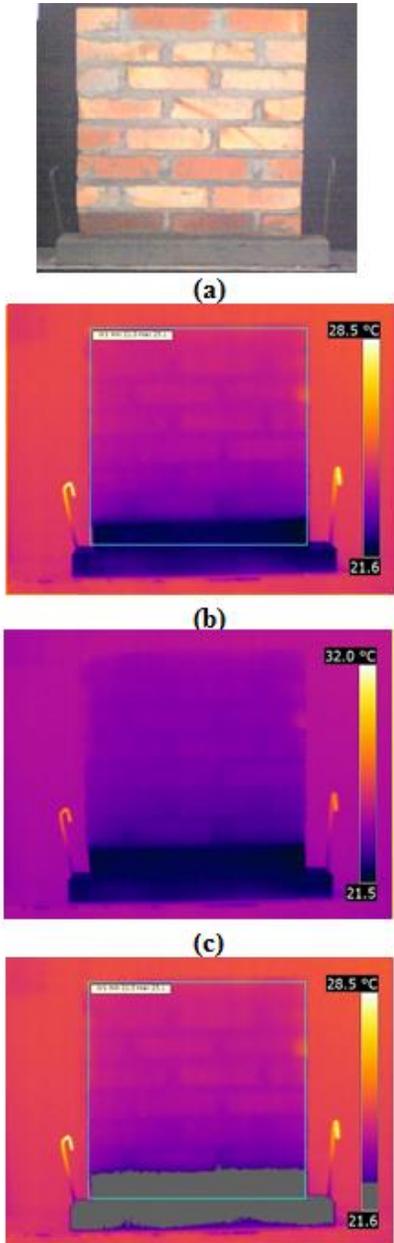


Figura 72 - Comparação entre médias que mostra que faz diferença utilizar um cristalizante, no entanto não há diferenças significativas entre os produtos 1, 2 e 3.

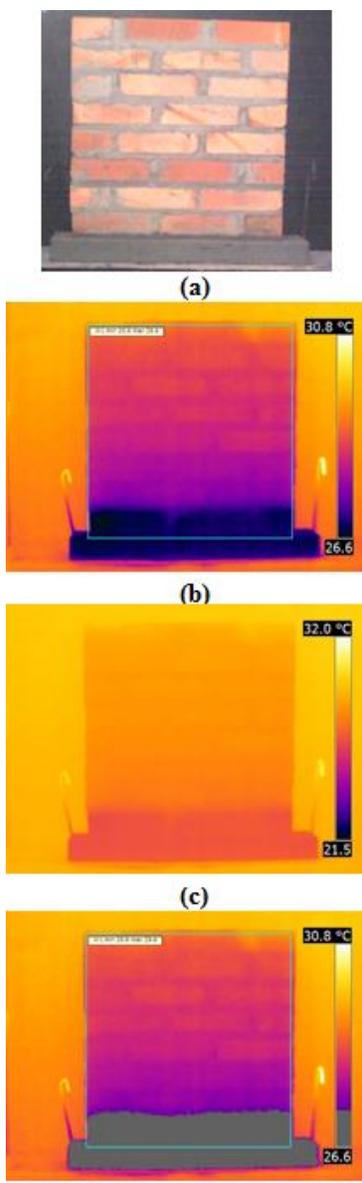
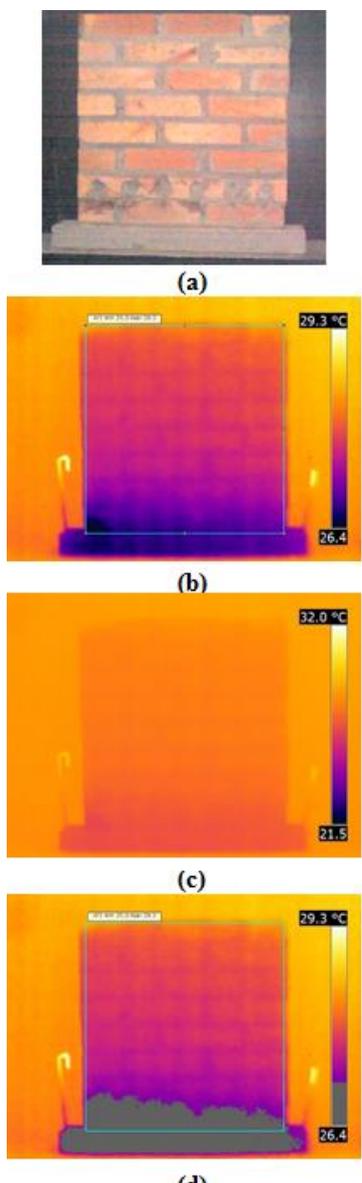
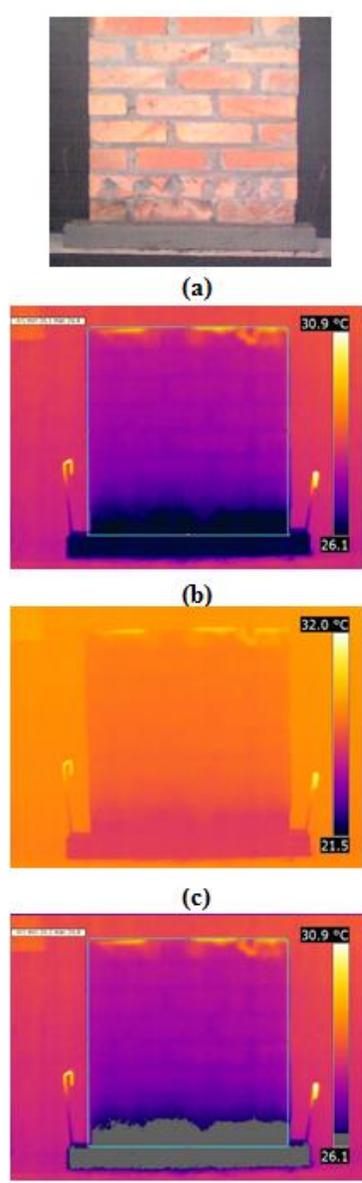
Freitas, Torres e Guimarães(2008)encontraram resultados semelhantes no que se refere a grande redução de taxa de absorção. Também, no período analisado pelos autores, não se observou a redução de 100% da absorção da água pelas paredes e relataram a dificuldade em garantir o espalhamento do cristalizante de forma contínua na parede. Uma questão a ser levantada é que teor de umidade seria aceitável após um tratamento. A partir de qual teor as manifestações patológicas começam a surgir e o desempenho térmico da parede a reduzir. Neste momento pode-se apenas afirmar que quanto mais próximo dos 100% de secagem é o ideal. Sendo assim, os produtos não foram eficazes, mas talvez essa diminuição dos teores de umidade já seja suficiente para diminuir muitas das manifestações. Desta forma, todos com a mesma eficácia, pode-se afirmar que o melhor custo benefício é o a utilização do cristalizante 3, que chega a ser quase 1/3 do valor do cristalizante 1, o de maior custo.

As imagens dos corpos de prova junto com suas respectivas imagens termográficas nas Figura 73 a Figura 120, disponibilizadas nos Quadro 2 ao Quadro 19, mostram a temperatura superficial dos cps. A escala de cores mostra as zonas mais claras como as de temperatura mais alta (zonas mais secas), e as áreas mais escuras as zonas mais frias (zonas mais úmidas).

Além das imagens digitais e termográficas, constam nos quadros as porcentagens de pixels no intervalo demarcado pela isotérmica, calculados no Excel e a demarcação destas isotérmicas nas imagens. Como já explicado no item 4.3.2, esta quantificação é apenas uma tendência. A seguir estão os Quadros 2 e 3 onde estão as imagens relativas um corpo de prova trata com o cristalizante 1. Os demais quadros com todas as imagens, podem ser visualizados no Apêndice A.

Corpo de prova 1A	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>
<p>Figura 73 - CP 1A Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 74 - CP 1A Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
	% da isotérmica: 12%

Quadro 2 - Imagens do cp 1A antes do tratamento.

Corpo de prova 1A		
 <p>(a) (b) (c) (d)</p>	 <p>(a) (b) (c) (d)</p>	 <p>(a) (b) (c) (d)</p>
<p>Figura 75 - CP 1A 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 76 - CP 1A após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 77 - CP 1A após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
% da isotérmica: 16%	% da isotérmica: 13%	% da isotérmica: 11%

Quadro 3 - Imagens do cp 1A após o tratamento.

Analisando as imagens, percebem-se fatos que se repetem em todos os casos:

- após 28 dias de cura das paredes, antes de colocar a base de argamassa em contato com a água, havia um teor de umidade na parede, esta provinda do processo de produção dos corpos de prova, localizadas na área mais central, já que próximo às bordas as condições de secagem são mais favoráveis devido a maior área de contato com o ar;
- aos 14 dias do contato da base de argamassa com a lâmina de água, é nítida a faixa horizontal escura formada próximo à base, característica de umidade ascensional, que marca a localização desta umidade;
- aos 56 dias após o tratamento, a faixa de umidade de todas as paredes diminuiu consideravelmente, conforme já indicavam alguns fabricantes;
- após a secagem das paredes e a repetição do contato da base com a água (21 dias em contato) há um aumento da faixa úmida quando comparado aos 56 dias. Esse aumento se confirma nas medições das massas das paredes, na Tabela 9. É importante salientar que a umidade relativa nos 56 dias foi em média 72% e a temperatura média de 27,6°C, já na segunda simulação de umidade ascensional, a umidade relativa do ar foi de 74% e a temperatura 26,4°C. Portanto as condições climáticas eram bastante semelhantes;

Ainda foi realizado um ensaio de gravimetria nos cps A e C de cada cristalizante, preservando o B para estudos futuros. Os teores de umidade de cada amostra foram calculados e os resultados para os cps onde se utilizou o cristalizante 1, 2 e 3 estão respectivamente apresentados na Figura 78, Figura 79 na Figura 80.

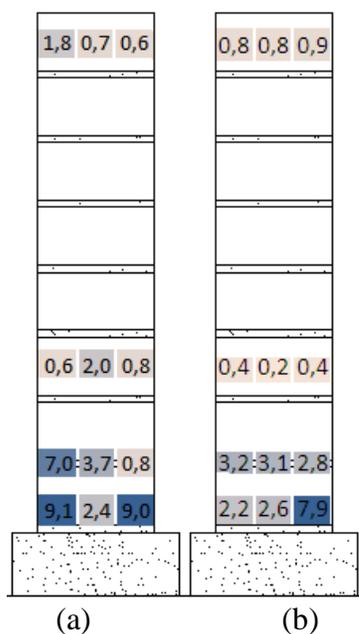


Figura 78 - Ilustração do corte com os teores de umidade nas amostras retiradas dos cps onde foi aplicado o sistema proposto pelo fabricante do produto 1. (a) cp A; (b) cp C.

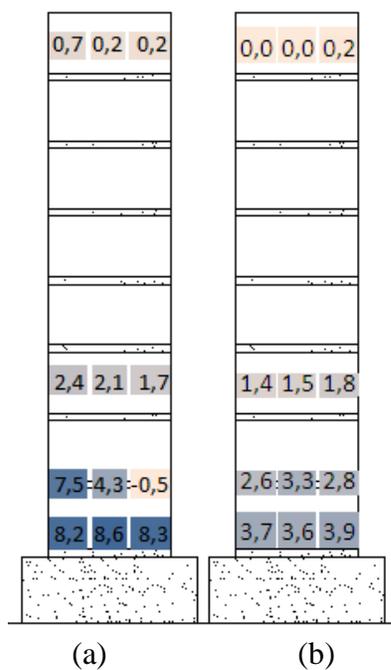


Figura 79 - Ilustração do corte com os teores de umidade nas amostras retiradas dos cps onde foi aplicado o sistema proposto pelo fabricante do produto 2. (a) cp A; (b) cp C.

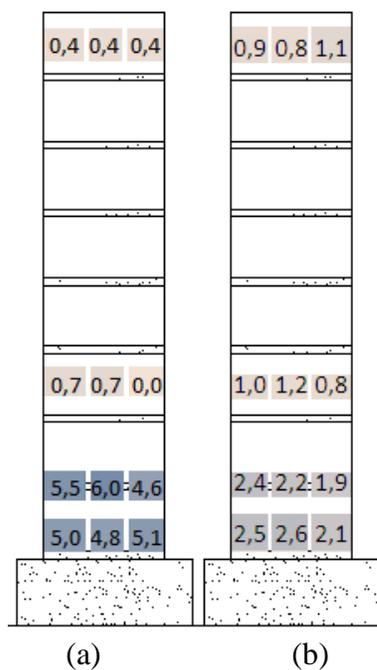


Figura 80 - Ilustração do corte com os teores de umidade nas amostras retiradas dos cps onde foi aplicado o sistema proposto pelo fabricante do produto 3. (a) cp A; (b) cp C.

Verifica-se que aparentemente o cristalizante 3 apresenta um teor de umidade inferior aos demais, sendo o cristalizante 1 o com maiores teores de umidade. Nota-se que alguns locais na

área central das paredes apresentaram-se menos úmidos que nas superfícies, isso pode ser causado pela diferença de espalhamento do cristalizante, causando locais com maior tamponamento dos poros que outros.

Provavelmente, assim como o ocorrido com Freitas, Torres e Guimarães (2008), os cristalizantes não se espalham igualmente na extensão da parede. Esta hipótese pode ser ainda confirmada pelas imagens termográficas. As imagens realizadas após o tratamento mostraram que, de forma geral, a umidade ascensional diminuiu de forma desigual, em uma mesma altura algumas áreas se apresentaram mais secas que outras.

Com base no observado, o espalhamento do cristalizante num mesmo corpo de prova parece desigual, já que a redução da umidade ocorreu de forma desuniforme. Isso pode ser consequência do modo de aplicação quanto por algumas questões químicas ou físicas. Uma questão a ser pesquisada é se o tamanho da partícula do cristalizante é suficientemente menor que o tamanho dos capilares ao ponto de conseguir penetrar em todos locais necessários.

Rirsch, Zhang (2010) colocam as argamassas como grandes responsáveis pela ascensão da umidade nas primeiras fiadas de alvenaria. No entanto Alfano et al. (2006) lembram que quando os fluidos são aplicados em substratos heterogêneo, nem sempre conseguem preencher totalmente a estrutura porosa. Verifica-se nesta pesquisa que algumas vezes estes pontos de aplicação ficam localizados na argamassa e outras nos tijolos, já que foram seguidas as recomendações dos fabricantes que apontavam as distâncias entre os pontos de aplicação dos produtos. Como são materiais diferentes, podem ter espalhamentos diferentes, não garantindo o preenchimento total. Franzoni (2014) considera este um dos fatores onde ainda há pouco conhecimento e pesquisa, os mecanismos envolvendo sistemas desiguais. Assim se faz necessário pesquisar não focando apenas em um material, mas sim no sistema.

Os melhores resultados na diminuição da umidade ascensional encontrados na bibliografia estudada foram os tratamentos a base de silanos segundo Alfano et al. (2006) e siloxanos, conforme Lubelli, Van Hees e Hacquebord (2013). No entanto, como a proposta desta pesquisa foi utilizar produtos com aplicação por gravidade, utilizaram-se produtos a base de silicatos, que podem ser aplicados através desta técnica.

Ao analisar a forma de execução dos tratamentos, percebeu-se que, além de causar vazamento, a metodologia de aplicação dos produtos indicada pelos fabricantes (através de funis) não permitem o controle da velocidade de aplicação nem da quantidade de produto aplicada, no momento em que ocorre o vazamento do mesmo. Como visto na bibliografia, Alfano et al. (2006) recomendam que, quando a aplicação for através da gravidade, esta seja feita de forma lenta para permitir que o produto penetre completamente nos poros dos materiais. Assim ao utilizar a metodologia proposta neste trabalho, através de frascos e equipos, esta velocidade pôde ser controlada. Ainda é necessário estudar qual a velocidade indicada de aplicação.

Somada às dificuldades encontradas, quando se propõe uma metodologia de execução, deve-se preocupar com o operador. A posição de quem utiliza o método indicado pelos fabricantes, para realizar o tratamento, não é ergonomicamente correta já que as aplicações são realizadas de 5 a 20cm do piso. Aplicando com funis nestas alturas, considerando uma parede com maiores extensões do que as dos cps desta pesquisa, o operador ficaria bastante tempo numa postura desconfortável, que pode vir a prejudicar sua saúde. Além disso, considerando que este operador aplicará o produto em um orifício por vez, o tempo para a execução é maior ou demandará de mais mão de obra, já que não poderá aplicar em todos os orifícios ao mesmo tempo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho diz respeito a análise da eficiência de diferentes produtos, aplicados conforme as recomendações de seus respectivos fabricantes, nos tratamentos de paredes com umidade ascensional. Este tratamento foi através do corte hídrico pela técnica por gravidade, utilizando produtos disponibilizados no mercado nacional. Para isso, mini paredes foram colocadas em contato com uma lâmina de água para ocorrer a absorção de água por capilaridade, na sequência ocorreram os tratamentos e em seguida as avaliações destes.

A seguir estão apresentadas as conclusões obtidas ao final desta pesquisa bem como algumas sugestões de trabalhos futuros.

6.1 CONCLUSÕES

Os produtos apresentaram-se estatisticamente iguais proporcionando uma redução significativa na absorção da água pelo corpo de prova, assim todos foram considerados com mesma eficácia. No entanto nenhum deles foi capaz de reduzir a umidade próximo aos 100%, no período em que foram acompanhados.

Através deste trabalho pode-se concluir que a proposta de inserção dos produtos testados nos furos realizados nas paredes através de equipos e frascos de alimentação enteral, usados na área da saúde, são uma boa opção enquanto o mercado nacional não dispõe de equipamentos voltados especificamente para este fim.

Ainda se observou a não uniformidade do espalhamento do produto nos cps, não só na altura, mas na espessura da parede. Este fato pode ser causado por diversas questões ainda a serem pesquisadas.

Também se verifica uma grande diferença de preço destes produtos, sendo que o cristalizante 3 (o mais barato) chega a ser quase 1/3 do produto mais caro, o cristalizante 1, sendo o melhor custo benefício.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa visou verificar a eficácia dos produtos disponíveis no mercado nacional para o tratamento da umidade ascensional. No entanto ficou limitada ao tempo disponível para o desenvolvimento da mesma, aos espaços físicos do laboratório entre outros. Algumas questões ainda surgiram no decorrer deste período que ficam como sugestão para pesquisas futuras:

- a) analisar destes produtos ao longo dos anos;
- b) pesquisar sobre a metodologia de aplicação dos produtos estudados, a fim de garantir um melhor espalhamento: se é em forma de furos, qual a distância e altura ideais destas perfurações;
- c) verificar a influência da velocidade e tempo de aplicação dos produtos cristalizantes;
- d) estudar métodos de aplicação que facilitem ao operador, pensando na ergonomia e praticidade do processo;
- e) estudar os mecanismos da umidade envolvendo sistemas desiguais;
- f) avaliar como as composições química dos produtos interferem nos resultados.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10908: **Aditivos para argamassa e concreto - Ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 13279: **Resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13280: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15270: **Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15310: **Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15575: **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15630: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15839: **Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow**. Rio de Janeiro, 2010. AIRES-BARROS, L. **As rochas dos monumentos portugueses - tipologias e patologias**. Lisboa, Portugal: IPPAR, 2001.

AKÇAÖZOĞLU, S.; AKÇAÖZOĞLU, K.; ATIŞ, C. D. **Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA)**. Composites Part B: Engineering, v. 45, n. 1, p. 721–726, fev. 2013.

ALFANO, G. et al. **Long-term performance of chemical damp-proof courses: Twelve years of laboratory testing**. Building and Environment, v. 41, n. 8, p. 1060–1069, ago. 2006.

AVDELIDIS, N. P.; MOROPOULOU, A. **Emissivity considerations in building thermography**. v. 35, p. 663–667, 2003.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios**. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Construção de Edifícios: [s.n.].

BAUER, E.; LEAL, F. E. C. B. **ARTIGO TÉCNICO 25 - Considerações Iniciais sobre a Termografia Aplicada à Inspeção de Fachadas**. Disponível em: <<http://materialsandmateriais.blogspot.com.br/2013/08/artigo-tecnico-25-consideracoes.html>>.

BERTOLINI, L. **Materiais de Construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2010.

CAETANO, J. I. **Ambientes Favoráveis à Formação de Sais Solúveis em Pinturas Murais Restauradas: o caso da quinta do conventinho em Frielas e da igreja de S. Francisco de Leiria**. In: LNEC. Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos: danos, processos e soluções. 2^a. ed. Lisboa: [s.n.], 2007. p. 239–247.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. Tese (Doutorado em Engenharia/ Construção Civil): Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARDEIRA, A. M. C. **Análise macroscópica do efeito de dois modificadores de cristalização com baixa toxicidade**. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil na especialidade de Reabilitação de Edifícios. A presente dissertação foi realizada no Laboratório Nacional: Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010.

CARRIÓ, J. M. **Patología de Cerramientos y Acabados Arquitectónicos**. 2^a. ed. Madris, España: Munilla-Leria, 2010.

CARVALHO, P. N. DE. **Medição do Teor de Humidade em Materiais de Construção**. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Portugal., 2010.

CARVALHO, J. W. P. et al. **Cetyltrimethylammonium chloride (CTAC) effect on the thermal stability of oxy-HbGp: dynamic light scattering (DLS) and small angle X-ray scattering (SAXS) studies**. Colloids and surfaces. B, Biointerfaces, v. 118, p. 14–24, 1 jun. 2014.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado. Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação apresentada ao corpo docentes do curso de Pós Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia: UFRGS, Porto Alegre, 1988.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES. **HERITAGE CONSERVATION: Salt attack and rising damp A guide to salt damp in historic and older buildings**. Adelaide City, 2008.

FLYR SYSTEM CO. **Manual do Utilizador**, 2009.

FRANZONI, E. **Rising damp removal from historical masonries: A still open challenge**. *Construction and Building Materials*, v. 54, p. 123–136, mar. 2014.

FREITAS, R. J. G. DE. **Técnicas de Tratamento / Controlo da Humidade Ascensional - catálogo**. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — especialização em construções civis: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. Pt, 2014.

FREITAS, V. P. DE. **Transferência de humidade em paredes de edifícios**. Dissertação apresentada para efeito de prestação de provas de doutoramento na faculdade de engenharia da universidade do porto - departamento de engenharia civil-: Universidade do Porto, FEUP, 1992.

FREITAS, V. P. DE; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**. Porto, PT: F. Edições, 2008.

GONÇALVES, T. C. D. **Salt crystallization in plastered or rendered walls**. Tese realizada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), para fins de obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Técnica de Lisboa, com, no âmbito de um contrato de parceria entre o Instituto Superior Técnico e LNEC: Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2007.

GONÇALVES, T. D.; RODRIGUEZ, J. D.; ROOIJ, M. DE. **Alhos-Vedros Tide-Mill: Salt Damage Assessment, Diagnosis and Repair**. In: LNEC. Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos: danos, processos e soluções. 2^a. ed. Lisboa: [s.n.], 2007. p. 157 - 166.

GONÇALVES, T. M. A. Relatório Final. Relatório Final no âmbito da unidade curricular de Preparação da Dissertação Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Automação. FEUP, Porto, Portugal, 2011.

GRATWICK, R. T. **La humedad en la construcción: sus causas y remedios**. Barcelona, Espanha:Técnicos Asociados, 1971.

GRINZATO, E.; BISON, P. G.; MARINETTI, S. **Monitoring of ancient buildings by the thermal method**. v. 3, p. 21–29, 2002.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em Paredes**. Lisboa: LNEC, 2007.

KOSTER. Reabilitação de vivenda particular. Disponível em <<http://www.koster.pt>> Acesso em 01 jan. de 2015.

LUBELLI, B.; VAN HEES, R. P. J.; HACQUEBORD, A. **Experimental study of the distribution of chemical products against rising damp in substrates with different water saturation degrees.** *Construction and Building Materials*, v. 40, p. 891–898, mar. 2013.

LUSO, E.; LOURENÇO, P. B.; ALMEIDA, M. **Tratamento de paredes de alvenaria antiga com problemas de humidade ascensional.** 3º E N C O R E, p. 813–821, 2003.

MAGALHÃES, D. T. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil: Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2008.

MARREIROS, L. S. **O Tratamento de Parametros Salitrados: Sucessos e Insucessos da direcção Regional de Lisboa do Ippar.** In: LNEC. Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos: danos, processos e soluções. 2ª ed. Lisboa: [s.n.], 2007. p. 141 - 146.

MASY, M. C. **Técnicas y ejemplos de hidrofugación en masa.** In: Munilla - Leria. Tratado de Rehabilitacion. Tomo 4 - Patología y Técnicas de Intervención. Fachadas y Cubiertas I. Madrid, España, 1998.

MASON, G. **Rising Damps.** *Building Science*, v. 9, n. 3, p. 227–231, 1974.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedade e Materiais.** São Paulo, SP: IBRACON, 2008.

MERINO, F. L. **Humedades en obras enterradas. Técnicas de drenaje e impermeabilización.** In: Munilla- Leria. Tratado de Rehabilitacion. Tomo 4 - Patología y Técnicas de Intervención. Fachadas y Cubiertas. Madrid, España, 1998.

MORAIS, M. J. A. **Simulação Numérica da Humidade Ascensional em Edifícios Históricos.** Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia civil — especialização em construções: Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

MORALES, S. G. **Comportamiento Hídrico de los Edifícios de Construcción tradicional, y de sus materiales. Criterios Generales.** In: Munilla- Leria. Tratado de Rehabilitacion. Tomo 4 - Patología y Técnicas de Intervención. Fachadas y Cubiertas. Madrid, España, 1998.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico.: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RIRSCH, E.; ZHANG, Z. **Rising damp in masonry walls and the importance of mortar properties.** *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 10, p. 1815–1820, out. 2010.

RODRIGUES, J. C. M. **Umidade Ascendente em Paredes Internas: avaliação de desempenho de bloqueadores químicos.** Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS, Porto Alegre, 2014

RODRIGUEZ, J. D.; GONÇALVES, T. D. **Sais Solúveis nas Construções Históricas: introdução e relato sumário.** In: LNEC. Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos: danos, processos e soluções. Lisboa, 2007. p. 1 - 13.

RUBIN, A. P. et al. **Análise das Manifestações Patológicas Desenvolvidas em Ambiente Urbano nas Fachadas do Salão de Atos da UFRGS.** 1º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - Anais, p. 1668, maio 2014.

SANTOS, P. M. V. DOS. **Levantamento, diagnóstico e reabilitação de patologia em edifícios residenciais na região de Viseu.** Tese de Mestrado. Engenharia de Construção e Reabilitação: Instituto Politécnico de Viseu, 2012.

SILVA, R. J. S. M. DA. **Humidade Ascensional – Dimensionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes.** Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES: Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

SILVA, N. S. D. A. E. **Simulação Numérica da Influência da Interface no Fenómeno da Humidade Ascensional – WUFI-2D.** Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — especialização em construções: FEUP, Porto, Portugal, 2013.

STRAUBE, J. F. **Understanding Water : The Physics of Moisture Dynamics. Presentation.** University of Waterloo. Ontario, Canada, 2005. Disponível em: <www.civil.uwaterloo.ca/begCE708Moisture_physics_708.pdf>

TEIXEIRA, A. S. M. DOS S. G.; GUIMARÃES, S. **Caracterização experimental do funcionamento de sistemas de ventilação da base das paredes para tratamento da humidade ascensional.** Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, especialidade em Reabilitação do Património Edificado: [s. n.], 2007.

TERRA, R. C. **Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de pelotas.** Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — especialização em construções: UFRGS, Porto Alegre, 2001.

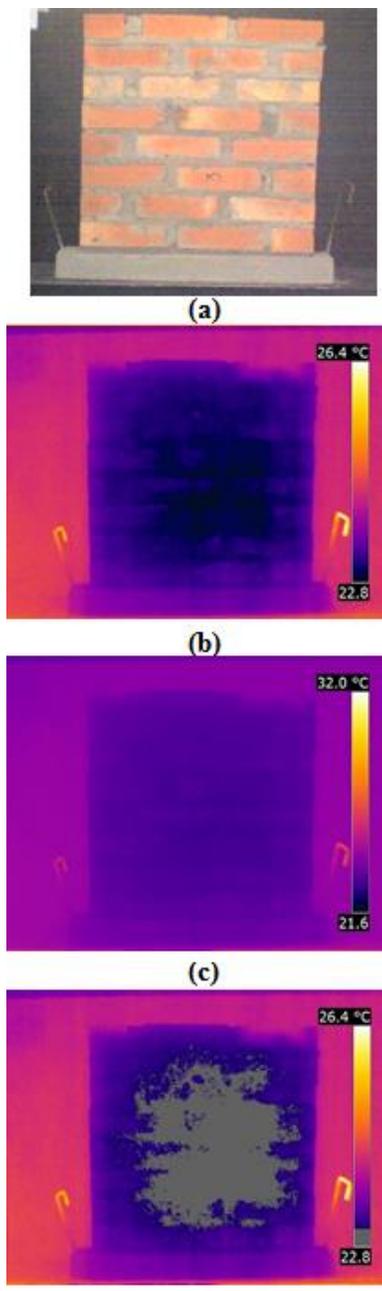
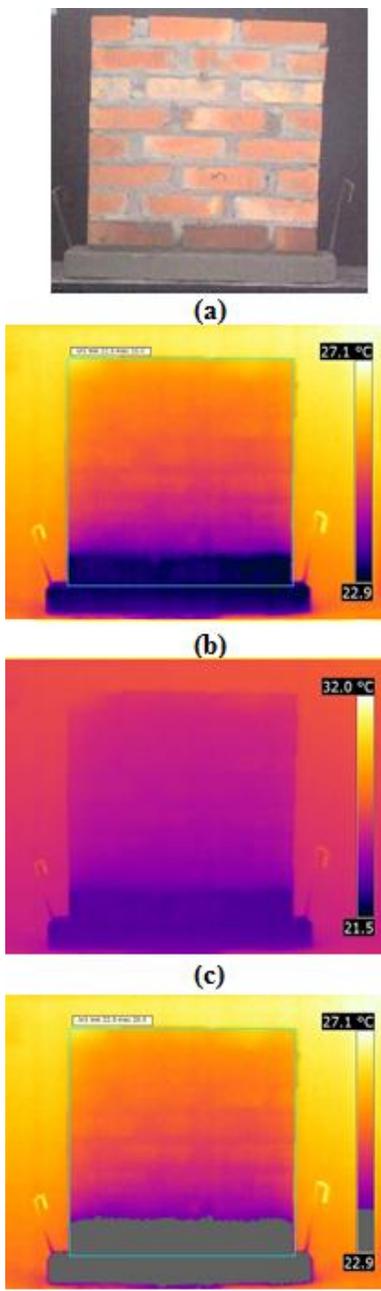
TORRES, I. M. **Wall base ventilation system to treat rising damp: The influence of the size of the channels.** Journal of Cultural Heritage, v. 15, n. 2, p. 121–127, mar. 2014.

TORRES, M. I. M. **Humidade Ascensional em Paredes**. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil - Especialização em Ciência das Construções -: Universidade de Coimbra, 1998.

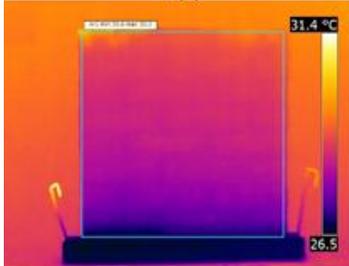
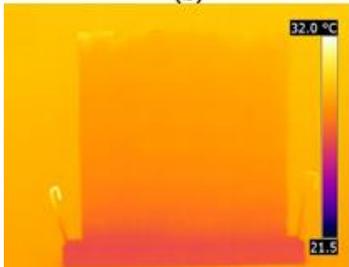
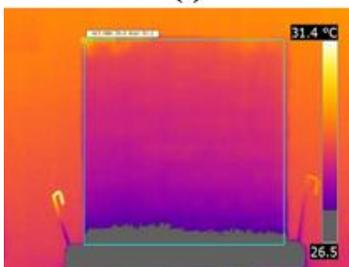
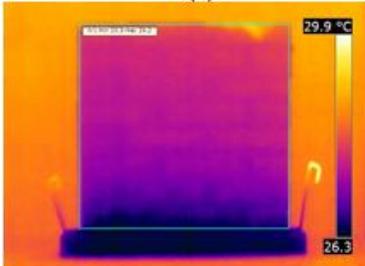
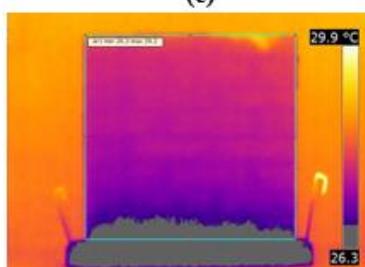
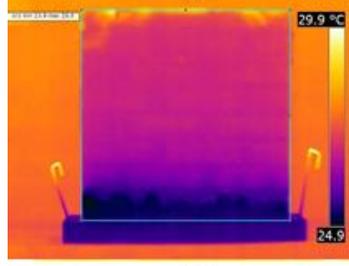
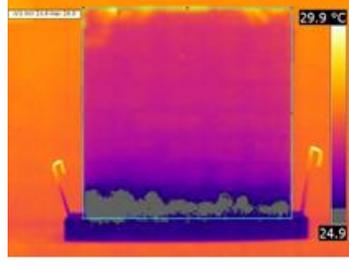
TORRES, M. I. M.; FREITAS, V. P. DE. **Treatment of rising damp in historical buildings: wall base ventilation**. Building and Environment, v. 42, n. 1, p. 424–435, jan. 2007.

WU, C. et al. **Studying bubble-particle interactions by zeta potential distribution analysis**. Journal of colloid and interface science, v. 449, p. 399–408, 4 fev. 2015.

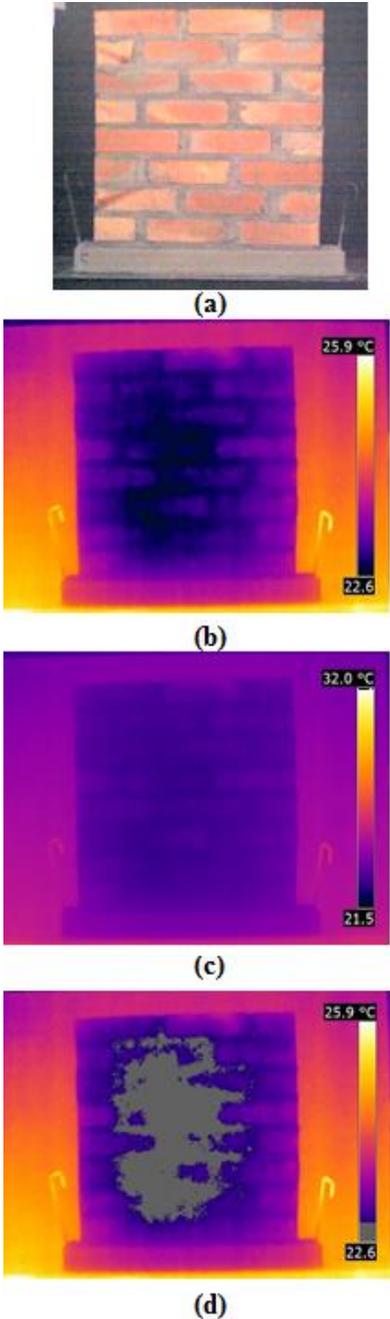
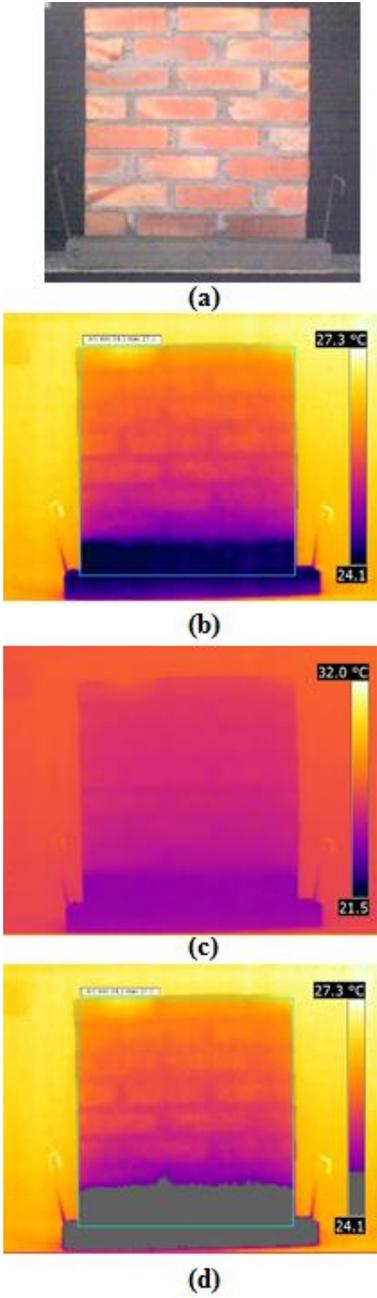
Apêndices A – Demais quadros com as imagens termográficas dos corpos de prova.

Corpo de prova 1B	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>
<p>Figura 81 - CP 1B Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 82 - CP 1B Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
	% da isotérmica: 16%

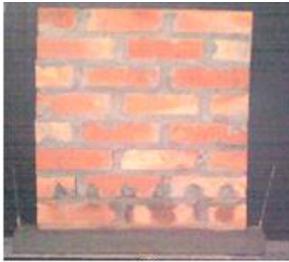
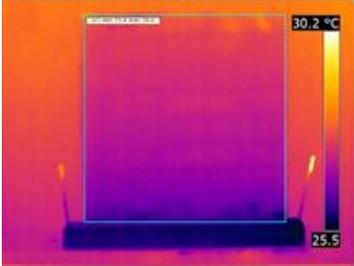
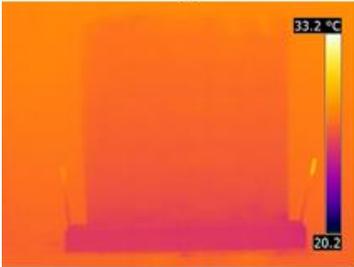
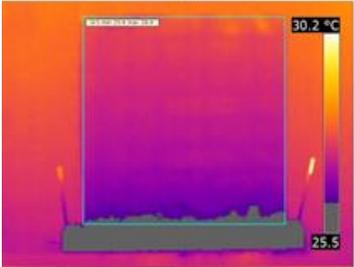
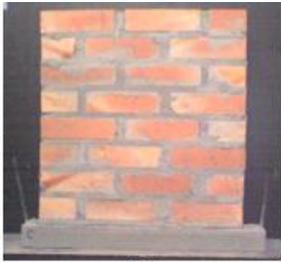
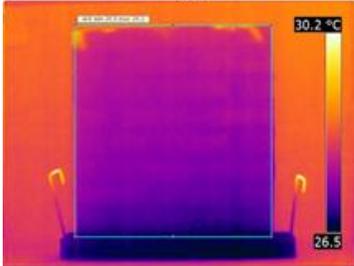
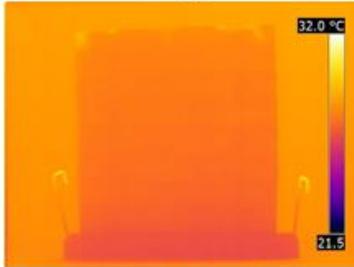
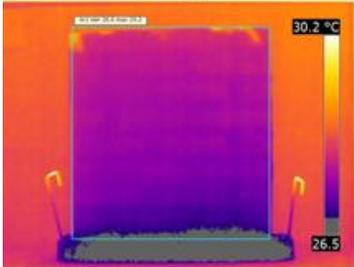
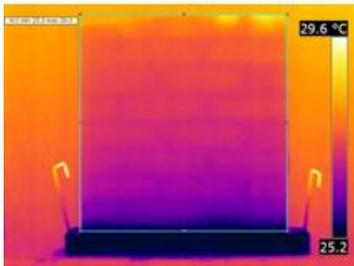
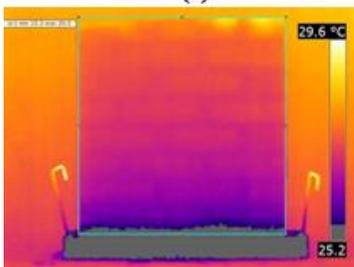
Quadro 4 - Imagens do cp 1B antes do tratamento.

Corpo de prova 1B		
 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>
<p>Figura 83 - CP 1B 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 84 - CP 1B após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 85 - CP 1B após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
% da isotérmica:9%	% da isotérmica:7%	% da isotérmica: 8%

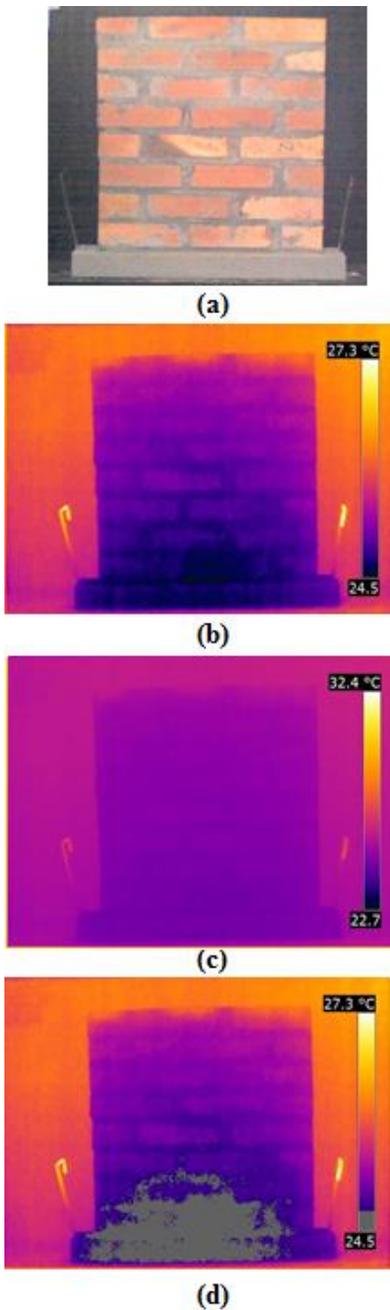
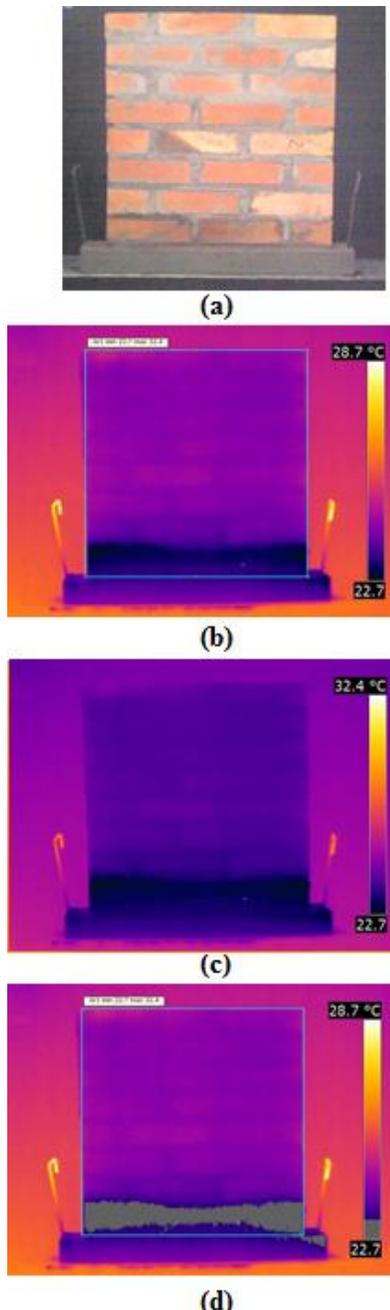
Quadro 5 - Imagens do cp 1B após o tratamento.

Corpo de prova 1C	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p> <p>Figura 86 - CP 1C Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p> <p>Figura 87 - CP 1C Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
	% da isotérmica: 20%

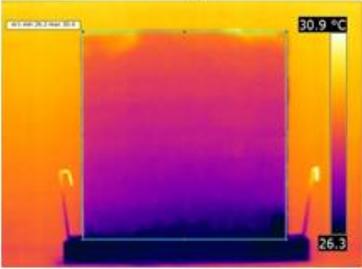
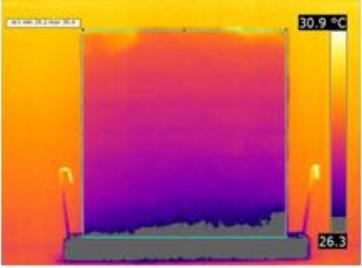
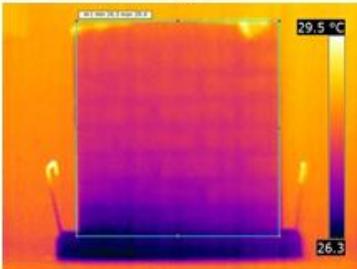
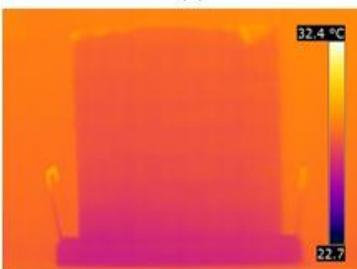
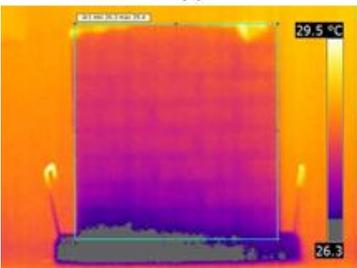
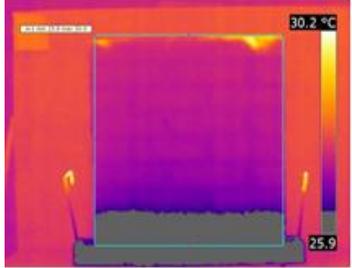
Quadro 6 -Imagens do cp 1C antes do tratamento.

Corpo de prova 1C		
 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>
<p>Figura 88 - CP 1C 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 89 - CP 1C após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 90 - CP 1C após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
% da isotérmica: 4%	% da isotérmica: 5%	% da isotérmica: 4%

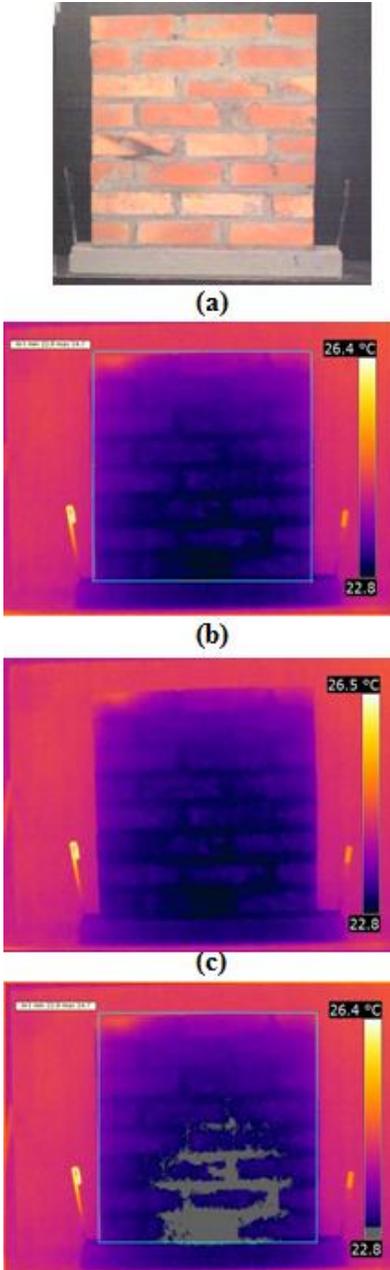
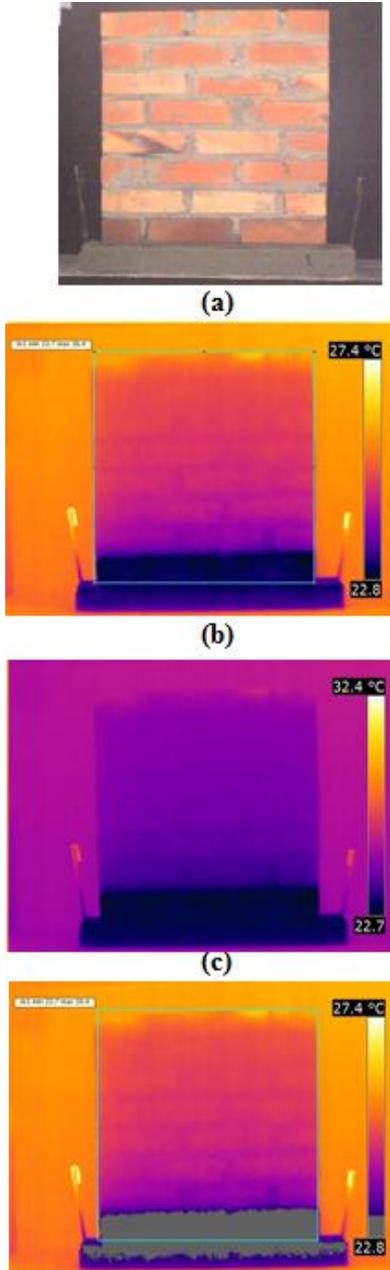
Quadro 7 - Imagens do cp 1Capós o tratamento.

Corpo de prova 2 A	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>
<p>Figura 91 - CP 2A Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 92 - CP 2A Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
<p>% da isotérmica: 16%</p>	

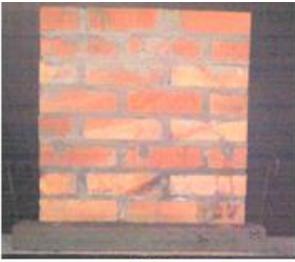
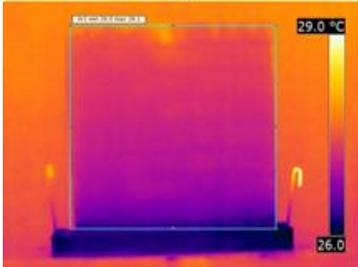
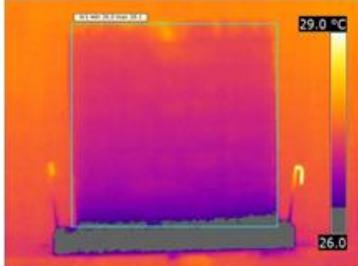
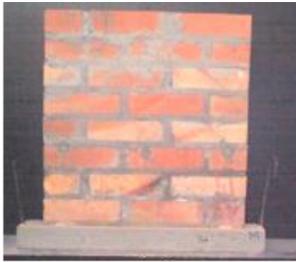
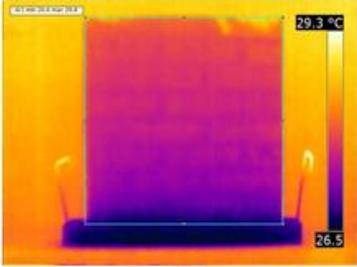
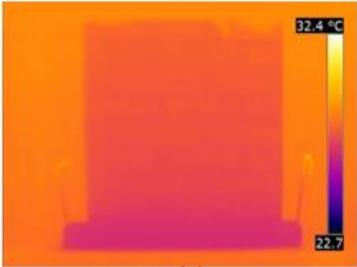
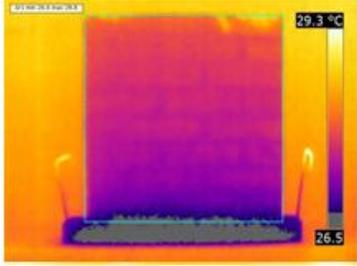
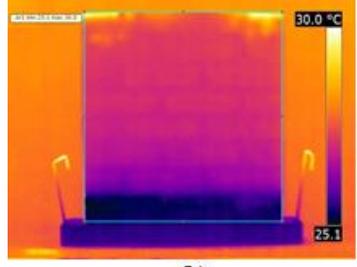
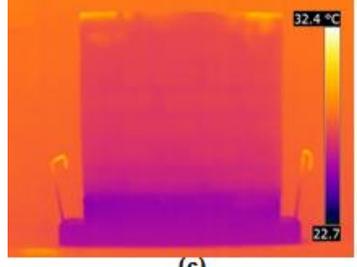
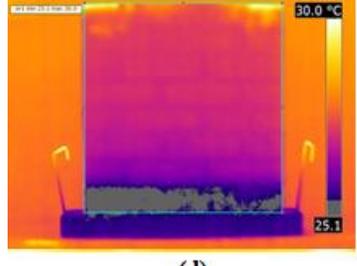
Quadro 8 -Imagens do cp 2A antes do tratamento.

Corpo de prova 2 A		
 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>
<p>Figura 93 - CP 2A 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 94 - CP 2A após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 95 - CP 2A após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
% da isotérmica: 6%	% da isotérmica: 3%	% da isotérmica: 16%

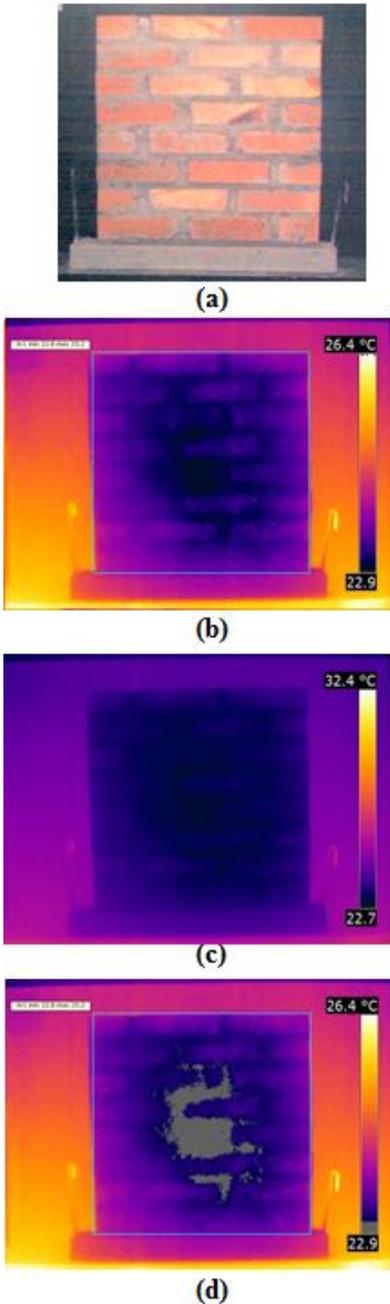
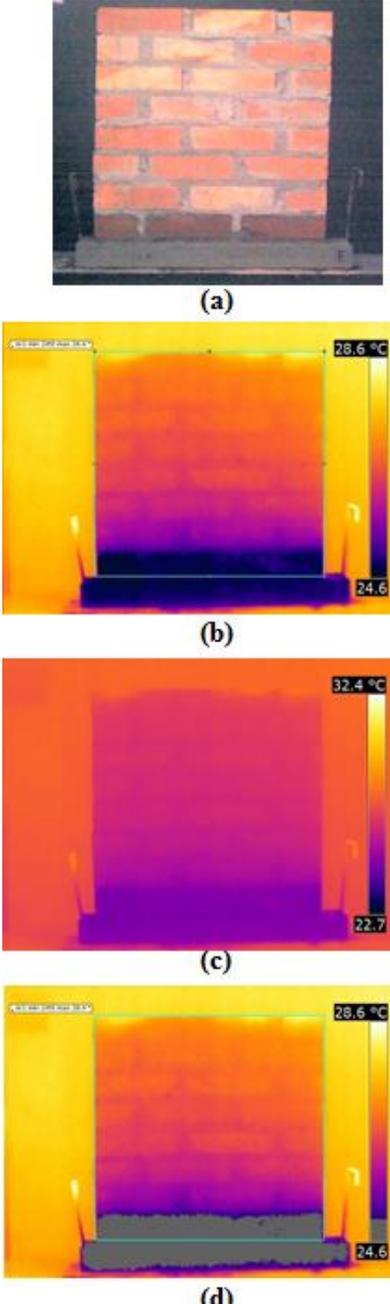
Quadro 9 - Imagens do cp 2A após o tratamento.

Corpo de prova 2B	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>
<p>Figura 96 - CP 2B Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 97 - CP 2B Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
	<p>% da isotérmica: 13%</p>

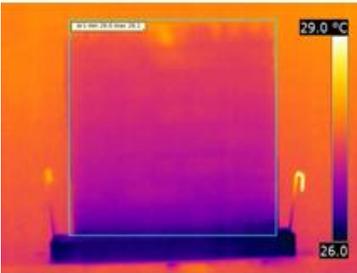
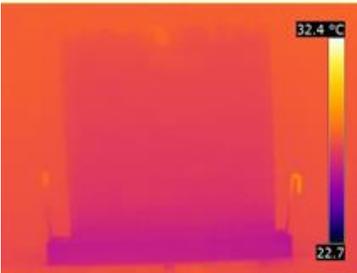
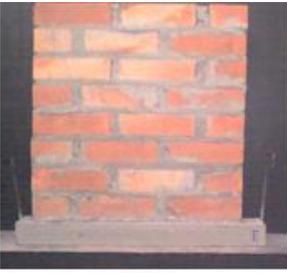
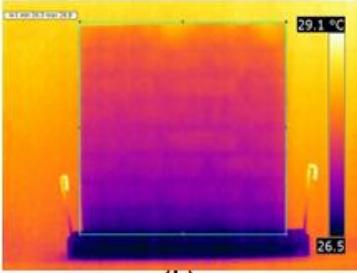
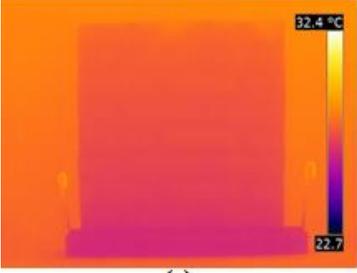
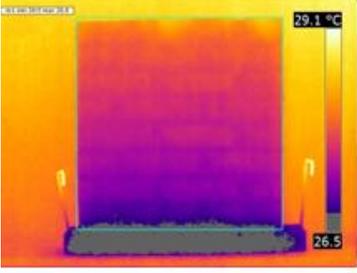
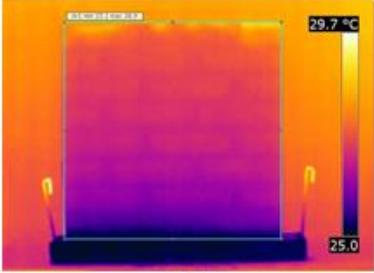
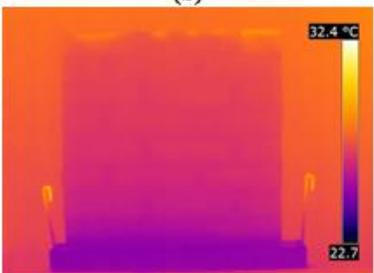
Quadro 10 -Imagens do cp 2B antes do tratamento.

Corpo de prova 2B		
 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>
<p>Figura 98 - CP 2B 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 99 - CP 2B após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 100 - CP 2B após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
<p>% da isotérmica: 3%</p>	<p>% da isotérmica: 1%</p>	<p>% da isotérmica: 10%</p>

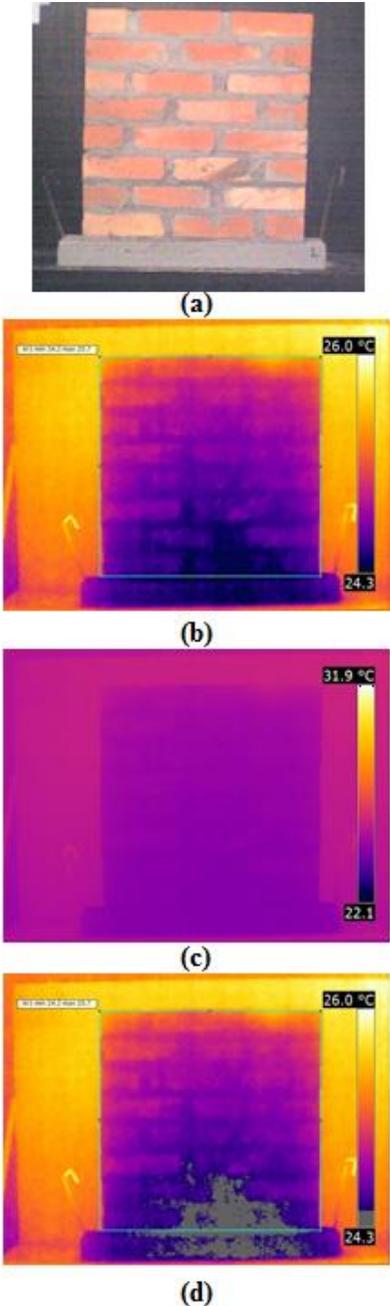
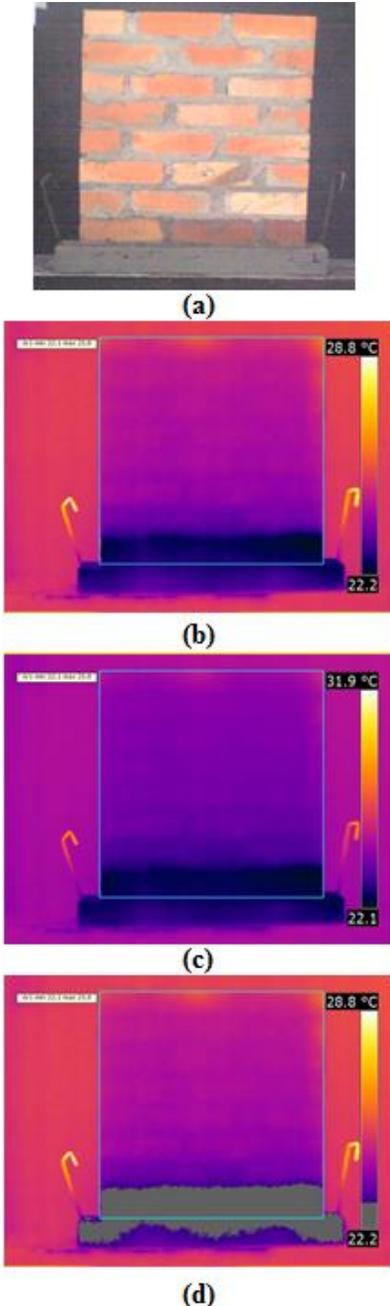
Quadro 11 - Imagens do cp 2B após o tratamento.

Corpo de prova 2C	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>
<p>Figura 101 - CP 2C Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 102 - CP 2C Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
	<p>% da isotérmica: 11%</p>

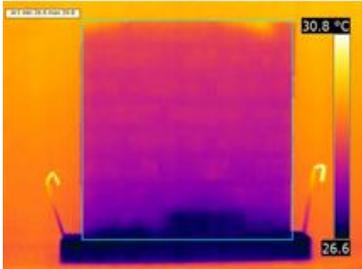
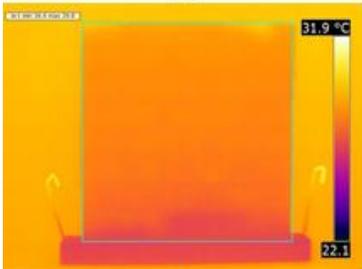
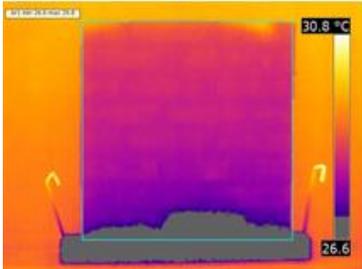
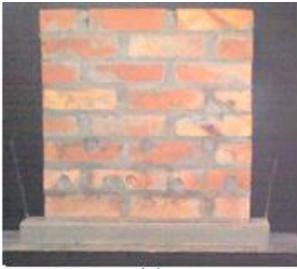
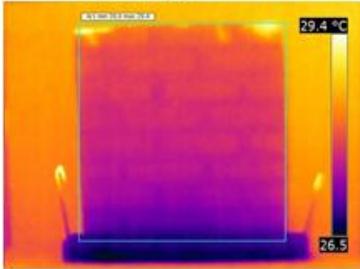
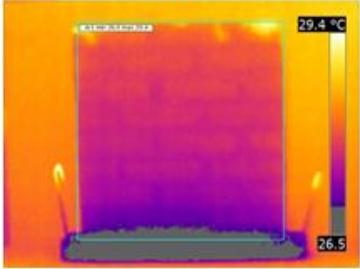
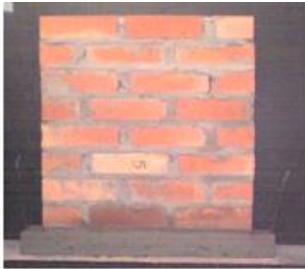
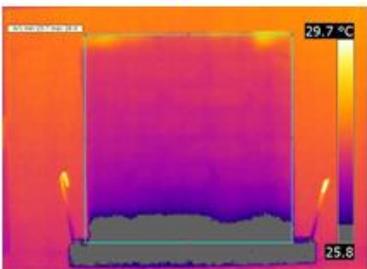
Quadro 12 -Imagens do cp 2C antes do tratamento.

Corpo de prova 2C		
 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>
<p>Figura 103 - CP 2C 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 104 - CP 2C após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 105 - CP 2C após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
% da isotérmica: 3%	% da isotérmica: 2%	% da isotérmica: 4%

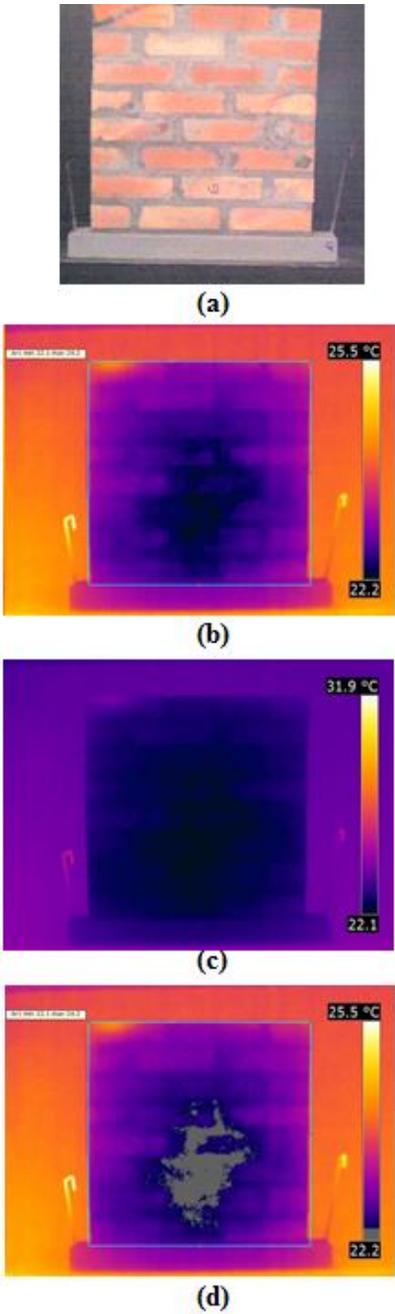
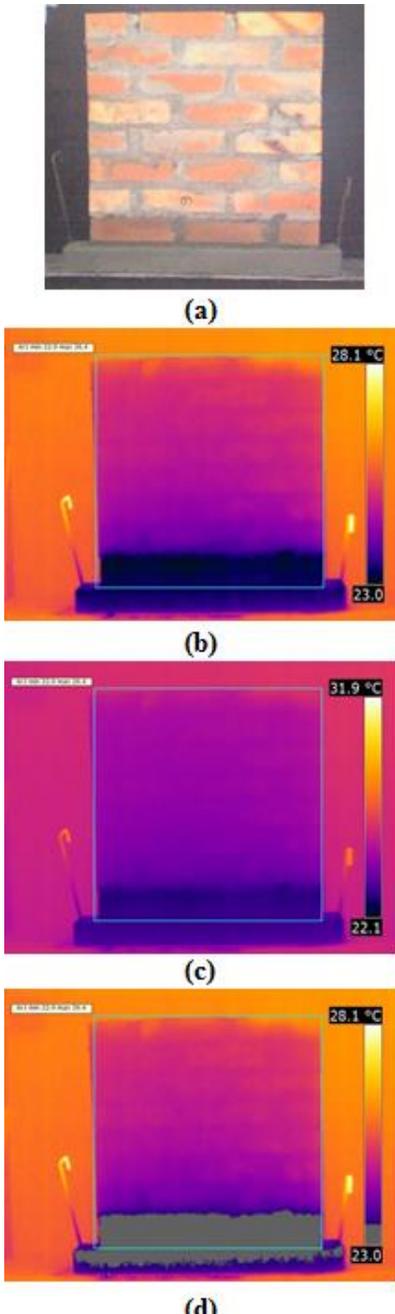
Quadro 13 - Imagens do cp 2C após o tratamento.

Corpo de prova 3A	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>
<p>Figura 106 - CP 3A Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 107 - CP 3A Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
<p>% da isotérmica: 14%</p>	

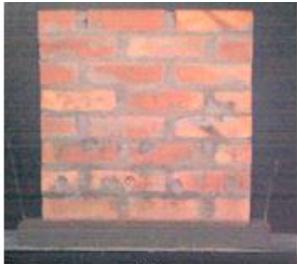
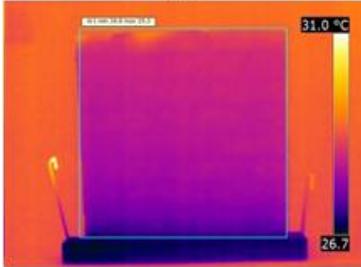
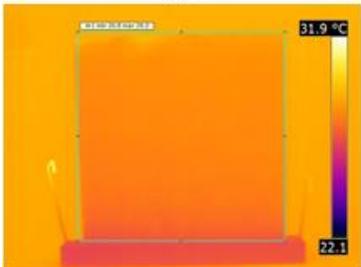
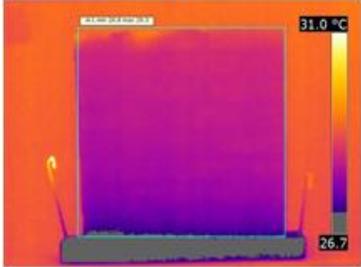
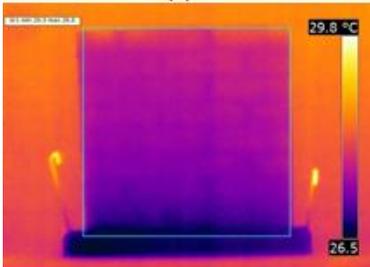
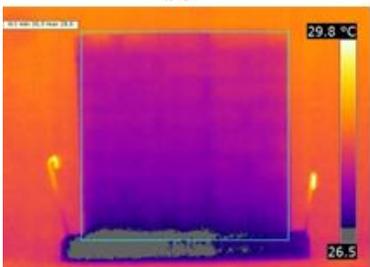
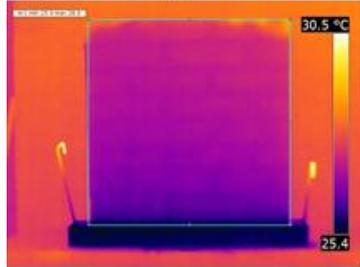
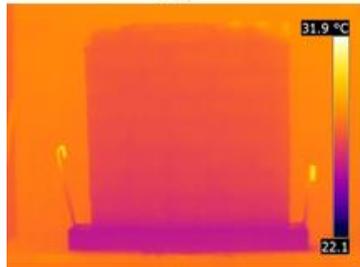
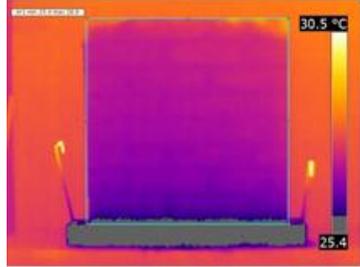
Quadro 14 -Imagens do cp 3A antes do tratamento.

Corpo de prova 3A		
 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>
<p>Figura 108 - CP 3A 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 109 - CP 3A após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 110 - CP 3A após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
% da isotérmica: 9%	% da isotérmica: 0,1%	% da isotérmica: 12%

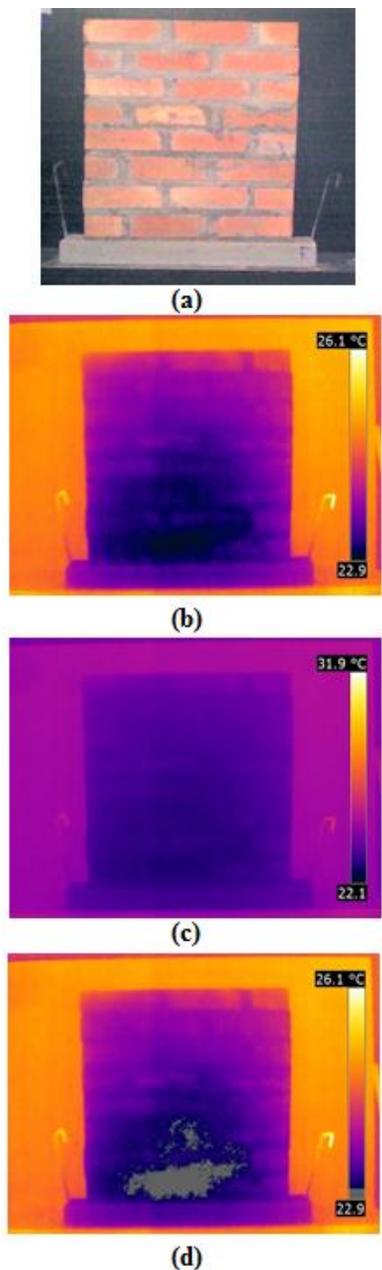
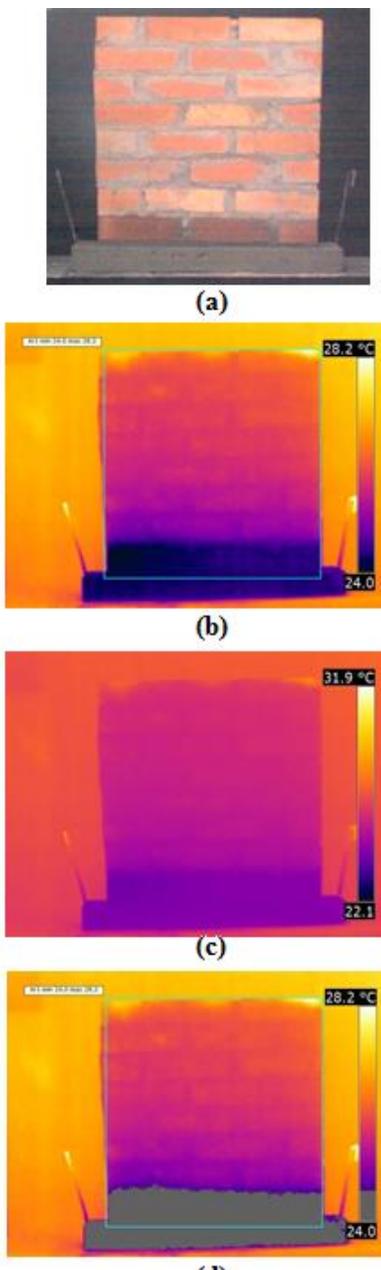
Quadro 15 - Imagens do cp 3A após o tratamento.

Corpo de prova 3B	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>
<p>Figura 111 - CP 3B Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 112 - CP 3B Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
<p>% da isotérmica: 15%</p>	

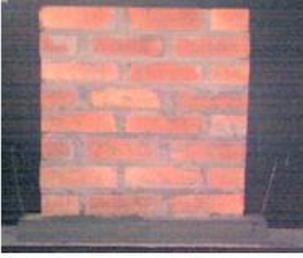
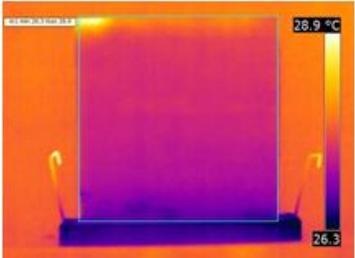
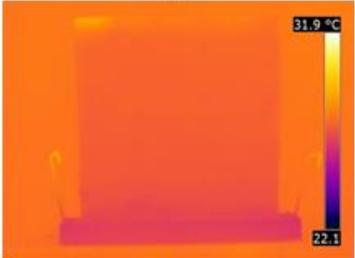
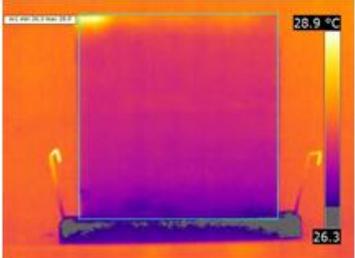
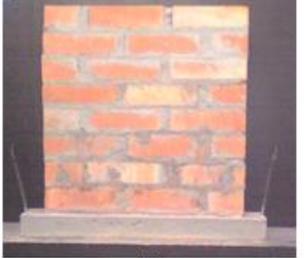
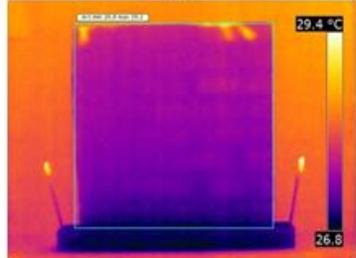
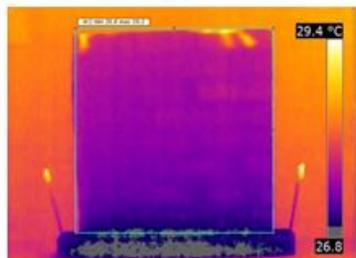
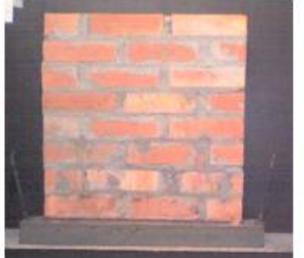
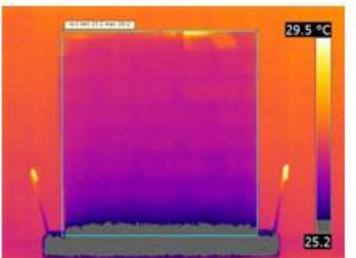
Quadro 16 -Imagens do cp 3B antes do tratamento.

Corpo de prova 3B		
 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p> <p>Figura 113 - CP 3B 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p> <p>Figura 114 - CP 3B após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p> <p>Figura 115 - CP 3B após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
% da isotérmica: 1%	% da isotérmica: 2%	% da isotérmica: 3%

Quadro 17 - Imagens do cp 3B após o tratamento.

Corpo de prova 3C	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>
<p>Figura 116 - CP 3C Antes de simular a umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isotérmicas.</p>	<p>Figura 117 - CP 3C Com umidade ascensional e sem tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isotérmicas.</p>
<p>% da isotérmica</p>	<p>% da isotérmica: 16%</p>

Quadro 18 -Imagens do cp 3C antes do tratamento.

Corpo de prova 3C		
 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>(c)</p>  <p>(d)</p>
<p>Figura 118 - CP 3C 56 dias após o tratamento (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 119 - CP 3C após secar por 7 dias (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>	<p>Figura 120 - CP 3C após a segunda simulação da umidade ascensional (a) Imagem digital; (b) Imagem em infravermelho em escala automática; (c). Imagem em infravermelho em escala determinada; (d) Imagem em infravermelho com marcação das isométricas.</p>
% da isotérmica: 0%	% da isotérmica: 0%	% da isotérmica: 6%

Quadro 19 - Imagens do cp 3C após o tratamento.

Apêndices B – Resultados completos dos ensaios de caracterização dos tijolos utilizados para a confecção dos corpos de prova.

Características Geométricas dos tijolos

	Medição total	Número de tijolos	Média dos Resultados
Comprimento (m)	4,525	24	0,19
Largura (m)	2,255	24	0,09
Altura (m)	1,365	24	0,06

Resistência à compressão

CP	Rc (Mpa)
CP1	1,10
CP2	9,40
CP3	7,05
CP4	7,18
CP5	10,01
CP6	6,86

Absorção total dos tijolos

CP	Massa seca (g)	Massa após 24h submersos em água (g)	AA (%)
CP1	1802	2032	0,13
CP2	1839	2068	0,12
CP3	1831	2060	0,13
CP4	1774	2006	0,13
CP5	1789	2014	0,13
CP6	1839	2070	0,13

Absorção por capilaridade dos tijolos

CP	Massa 0	Massa 10 min.	Massa 90 min.	Absorção (g/cm ²) 10 min.	Absorção (g/cm ²) 90 min.	Coef. Capilaridade (g/dm ² . min ^{1/2})
CP13	1794,36	1821,98	1869,28	1,73	4,68	47,30
CP14	1826,36	1841,69	1867,33	0,96	2,56	25,64
CP15	1835,31	1855,00	1889,39	1,23	3,38	34,39
CP16	1869,60	1884,85	1906,63	0,95	2,31	21,78
CP17	1783,86	1804,78	1834,84	1,31	3,19	30,06
CP18	1788,32	1801,37	1821,85	0,82	2,10	20,48

Apêndices C – Resultados completos dos ensaios de caracterização das argamassas utilizados para a confecção dos corpos de prova.

Índice de consistência da
Argamassa

Medida	mm
1ª	265
2ª	270
3ª	265
Média	266

Densidade de massa no Estado Endurecido

CP	Volume (mm ³)	Massa (g)	Densidade (kg/m ³)
CP1	260853	392	1,50
CP2	266143	398	1,50
CP3	267825	405	1,51
CP4	264118	399	1,51
CP5	264034	405	1,53
CP6	261288	402	1,54
CP7	263346	408	1,55
CP8	267700	396	1,48
CP9	270589	416	1,54
CP10	263687	402	1,52
CP11	265433	415	1,56
CP12	268261	412	1,54
CP13	266054	409	1,54
CP14	262516	406	1,55
CP15	261947	392	1,50
CP16	262671	393	1,50
CP17	264691	396	1,49
CP18	271860	410	1,51

Absorção de Água por Capilaridade

CP	Massa 0	Massa 10 min.	Massa 90 min.	Absorção (g/cm ²) 10 min.	Absorção (g/cm ²) 90 min.	Coef. Capilaridade (g/dm ² . min ^{1/2})
CP13	1794,36	1821,98	1869,28	1,73	4,68	47,30
CP14	1826,36	1841,69	1867,33	0,96	2,56	25,64
CP15	1835,31	1855	1889,39	1,23	3,38	34,39
CP16	1869,60	1884,85	1906,63	0,95	2,31	21,78
CP17	1783,86	1804,78	1834,84	1,31	3,17	30,06
CP18	1788,32	1801,37	1821,85	0,82	2,10	20,48

Módulo de Elasticidade Dinâmico

	Altura do pp (mm)	Velocidade (mm/ μ s)	Densidade (kg/m ³)	Ed (GPa)
CP7	1610,15	63,39	1,54	5,57
CP8	1607,05	63,27	1,55	5,58
CP9	1607,95	64,58	1,48	5,55
CP10	1600,30	63,00	1,54	5,50
CP11	1610,10	63,39	1,52	5,51
CP12	1613,90	64,04	1,56	5,77

CP	Resistência à tração na flexão	Resistência à compressão	
	R _{tf} (MPa)	R _c 1 (MPa)	R _c 2 (MPa)
CP1	2,68	3,89	4,60
CP2	2,34	3,13	3,71
CP3	2,55	3,93	4,10
CP4	2,34	4,47	4,13
CP5	2,54	4,36	5,00
CP6	2,23	4,86	4,22