



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

JAQUELINE ANDRADE CORRÊA

**AVALIAÇÃO DA UMIDADE ASCENDENTE EM PROTÓTIPOS DE ALVENARIA:
INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO E DO REVESTIMENTO NA DETECÇÃO DO
FENÔMENO POR MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS**

CAMPINAS

2026

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

ESCOLA POLITÉCNICA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM SISTEMAS DE
INFRAESTRUTURA URBANA**

JAQUELINE ANDRADE CORRÊA

**AVALIAÇÃO DA UMIDADE ASCENDENTE EM PROTÓTIPOS DE ALVENARIA:
INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO E DO REVESTIMENTO NA DETECÇÃO DO
FENÔMENO POR MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sistemas de Infraestrutura Urbana da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como exigência para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lia Lorena Pimentel.

Coorientador: Prof. Dr. Elier Pavón de la Fé.

CAMPINAS

2026

Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI
Gerador de fichas catalográficas da Universidade PUC-Campinas
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C823a	Andrade Corrêa, Jaqueline Avaliação da umidade ascendente em protótipos de alvenaria : influência do substrato e do revestimento na detecção do fenômeno por métodos não destrutivos / Jaqueline Andrade Corrêa. - Campinas: PUC-Campinas, 2026. 109 f. Orientador: Lia Lorena Pimentel. Coorientador: Elier Pavón de la Fé Dissertação (Mestrado em Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2026. Inclui bibliografia. 1. Termografia infravermelha. 2. Medidor de umidade. 3. Umidade por ascensão capilar. I. Lorena Pimentel, Lia. II. Pavón de la Fé, Elier III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana. IV. Título.
-------	---

JAQUELINE ANDRADE CORREA

**AVALIAÇÃO DA UMIDADE ASCENDENTE EM
PROTÓTIPOS DE ALVENARIA: INFLUÊNCIA DO
SUBSTRATO E DO REVESTIMENTO NA DETECÇÃO DO
FENÔMENO POR MÉTODOS NÃO DESTRUTIVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana, da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador (a): Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel
Coorientador (a): Prof. Dr. Elier Pavón de la Fé

Dissertação defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2026 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

Documento assinado digitalmente
 **LIA LORENA PIMENTEL**
Data: 17/03/2026 20:12:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Documento assinado digitalmente
 **CLAUDIA COTRIM PEZZUTO**
Data: 17/03/2026 10:00:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Cláudia Cotrim Pezzuto
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCO GABRIEL SANTOS SILVA**
Data: 26/02/2026 15:11:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. DSc. Francisco Gabriel Santos Silva
Universidade Federal da Bahia

Dedico este trabalho a Deus, à minha família, em especial aos meus pais, Elaine e Luis, ao meu namorado, Igor, e à minha irmã, Giovanna.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria para superar os desafios ao longo desta jornada.

Ao meu namorado, Igor Marques, por estar ao meu lado em todos os momentos, oferecendo amor, paciência e incentivo nos dias mais difíceis.

À minha família, em especial meus pais Elaine e Luis, minha irmã Giovanna e meus avós Leonilda e Antônio, por serem minha base, meu porto seguro e por acreditarem em mim incondicionalmente.

À minha orientadora, Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel, pela dedicação, paciência e por me guiar com sabedoria durante a pesquisa.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Elier Pavón de la Fé, pelas valiosas contribuições e pelo apoio técnico e científico essencial para este trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios da PUC Campinas, em especial ao Anderson, a Jaqueline e ao Fabiano do Laboratório de Conforto, ao Diogo e ao Igor do Laboratório de Materiais, ao Moisés do Laboratório de Elétrica, pela disponibilidade, profissionalismo e auxílio fundamental para a execução dos ensaios.

À minha querida amiga Isabella Campagnol, por ser minha companheira desde o período da graduação até a conclusão do mestrado e tornar essa jornada mais leve.

Ao Prof. Phelipe Viana Ruiz da Graduação da PUC Campinas, por sempre compartilhar dicas valiosas e enriquecer minha perspectiva acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro concedido, por meio do Código de Financiamento 001, fundamental para a realização deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho, minha eterna gratidão.

“Believe you can and you’re halfway there.”

Theodore Roosevelt

RESUMO

A identificação precoce da umidade ascendente em alvenarias revestidas representa um desafio crítico na engenharia diagnóstica, uma vez que as camadas de acabamento frequentemente ocultam os sinais visuais da manifestação patológica até que a degradação esteja avançada. Apesar de existirem métodos de diagnóstico, pouco se sabe sobre a influência do substrato ou como a cor e a absorção de água dos revestimentos interferem nos resultados. O presente trabalho tem como objetivo avaliar experimentalmente como as características dos materiais influenciam na identificação termo-higrométrica da umidade por ascendente, analisando três variáveis independentes: o tipo de substrato (bloco de concreto e cerâmico), a absorção de água do revestimento (porcelanato e cerâmica semi-porosa) e a cor da superfície (clara e escura). A metodologia experimental consistiu na construção de quatro protótipos que foram submetidos ao ensaio de absorção de água por capilaridade adaptado da NBR 15259 (ABNT, 2005d) em ambiente controlado, sendo dois protótipos de bloco de concreto e dois de bloco cerâmico. Cada metade do protótipo contém um tipo de revestimento. O monitoramento do fenômeno se deu por meio de dois métodos não destrutivos, especificamente termografia infravermelha (câmera Flir C5) e medição de umidade de contato por impedância com câmera térmica (Flir MR160), sendo os dados submetidos à análise estatística de variância (ANOVA) por meio do software Statistica. Os resultados indicaram que a absorção de água do revestimento foi o único fator com significância estatística ($\alpha < 0,05$) no cenário estudado. Quanto aos métodos de inspeção, a termografia infravermelha mostrou-se eficaz para a detecção qualitativa da presença e da extensão da umidade ascendente, independentemente do equipamento utilizado; entretanto, apresentou limitações na avaliação da gravidade do fenômeno ao longo do tempo em função do equilíbrio térmico do sistema. Conclui-se, portanto, que a absorção de água do revestimento exerce influência significativa na detecção e na intensidade das leituras de umidade, sendo indispensável a utilização combinada da termografia infravermelha com medições por impedância elétrica para um diagnóstico mais preciso e confiável de manifestações patológicas associadas à umidade em paredes revestidas.

Palavras-chaves: termografia infravermelha, medidor de umidade, umidade por ascensão capilar, manifestação patológica, revestimento cerâmico.

ABSTRACT

The early identification of rising moisture in plastered masonry poses a critical challenge in diagnostic engineering, as finishing layers often conceal visual signs of pathological manifestation until degradation is advanced. Although diagnostic methods exist, little is known about the influence of the substrate or how the color and water absorption of coatings affect the results. This study aims to experimentally evaluate how material characteristics influence the thermo-hygrometric identification of rising moisture, analyzing three independent variables: the type of substrate (concrete block and ceramic), the water absorption of the coating (porcelain and semi-porous ceramic), and the surface color (light and dark). The experimental methodology involved the construction of four prototypes that were subjected to a water absorption test by capillarity adapted from NBR 15259 (ABNT, 2005d) in a controlled environment, consisting of two concrete block prototypes and two ceramic block prototypes. Each half of the prototype contains one type of coating. The monitoring of the phenomenon occurred through two non-destructive methods, specifically infrared thermography (Flir C5 camera) and contact moisture measurement by impedance with a thermal camera (Flir MR160), with the data subjected to statistical variance analysis (ANOVA) using Statistica software. The results indicated that the water absorption of the coating was the only factor with statistical significance ($\alpha < 0.05$) in the studied scenario. Regarding the inspection methods, infrared thermography proved effective for the qualitative detection of the presence and extent of rising moisture, regardless of the equipment used; however, it showed limitations in assessing the severity of the phenomenon over time due to the thermal equilibrium of the system. It concludes that the water absorption of the coating significantly influences the detection and intensity of moisture readings, necessitating the combined use of infrared thermography with electrical impedance measurements for a more precise and reliable diagnosis of pathological manifestations associated with moisture in plastered walls.

Keywords: infrared thermography, moisture meter, capillary rise moisture, pathological manifestation, ceramic tile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Marcos relevantes relacionados à perícia	18
Figura 2 - Balanço de forças resultante no contato do menisco (σ_{sl} = tensão superficial entre o sólido e o líquido; σ_{sg} = tensão superficial entre o sólido e gás; σ_{lg} = tensão superficial entre o líquido e o gás)	21
Figura 3 - Influência da espessura da parede na altura da umidade ascendente.	25
Figura 4 – Influência da natureza do acabamento na altura da umidade ascendente	25
Figura 5 – Algumas das principais manifestações patológicas causadas pela presença de umidade: proliferação agentes biológicos (A), eflorescência (B), degradação da pintura e aberturas (C), manchas (D) e deslocamento do revestimento (E).....	26
Figura 6 – Mecanismo de formação de eflorescência e criptoflorescência	27
Figura 7 – Trinca horizontal na base da alvenaria por efeito da umidade do solo.....	27
Figura 8 – Lei de Sitter ou Lei dos 5.....	28
Figura 9 – Mofo e cogumelos tomam conta de apartamento térreo em Mogi das Cruzes	31
Figura 10 – Distribuição dos poros nos blocos de concreto (BH) e cerâmico (BC) ...	32
Figura 11 – Acoplamento da câmara de ensaio à parede	35
Figura 12 - Média de absorção de água pelo método da câmara acoplada.....	35
Figura 13 – Esquema de montagem do corpo de prova para o ensaio de estanqueidade.....	36
Figura 14 – Ensaio do cachimbo em vista lateral (a) e frontal (b).	38
Figura 15 - Modelo do espectro eletromagnético com a representação de suas respectivas faixas. Nele é detalhado a faixa do espectro visível, frisada a faixa de radiação infravermelha e ilustrada de forma figurativa o aumento do comprimento de onda com a diminuição da frequência.....	39
Figura 16 – Esquema de funcionamento do medidor de umidade.	44
Figura 17 – Medição de umidade superficial de parede (esquerda) e respectivo mapeamento de umidade superficial de face interna de parede (direita).	44
Figura 18 – Localização da parede analisada in loco (a) e medição de umidade nas áreas A1 e A2, nas regiões p1, p2, p3 e p4 (b)	45
Figura 19 – Termograma (a) e perfil de temperatura das áreas A1 e A2 no período da manhã (b).....	46

Figura 20 – Imagem digital dos protótipos argamassado (a), com pintura (b), revestimento grés (c) e porcelanato (d) em ambiente com incidência solar (esquerda) e sem incidência solar (direita).....	46
Figura 21 - Comportamento do ΔT nos acabamentos argamassado (P01), com pintura (P02), grés (P03) e porcelanato (P04), sem e com incidência solar	47
Figura 22 – Termogramas do protótipo argamassado (a), com pintura (b), revestimento grés (c) e porcelanato (d) em ambiente com incidência solar (esquerda) e sem incidência solar (direita).....	47
Figura 23 – Painéis elaborados, sendo C1 à esquerda (a) e C2 à direita (b).....	48
Figura 24 – Simulação da anomalia do descolamento (a) e do feltro para absorção de água por trás do revestimento cerâmico (b).....	48
Figura 25 - Diferencial térmico máximo e mínimo entre a área com anomalia e sem anomalia nos protótipos C1 e C2	49
Figura 26 - Umidade ascendente em um modelo experimental (mock-up) após 24 horas	50
Figura 27 – Termogramas capturados pelas câmeras FLIR T1020 de 1024x768 pixels (a), FLIR SC660 Western de 640x480 pixels (b) e FLIR B400 Western de 320x240 pixels (c).....	50
Figura 28 - Temperatura da área P1 e P2, temperatura ambiente e UR do ar.....	50
Figura 29 - Contraste térmico entre a temperatura da superfície e a temperatura ambiente na detecção da anomalia	51
Figura 30 – Termograma capturado ao meio-dia (a) e às 17h (b).....	51
Figura 31 - $\Delta T = P2 - P1$ durante o dia.....	52
Figura 32 – Etapas da metodologia do trabalho.....	53
Figura 33 – Registro fotográfico dos quatro prismas antes da aplicação das camadas de revestimento.....	54
Figura 34 - Registro fotográfico dos quatro prismas com chapisco, sendo os dois à esquerda de bloco cerâmico e os dois à direita de bloco de concreto.	55
Figura 35 - Registro fotográfico dos quatro prismas com massa única, sendo os dois à esquerda de bloco cerâmico e os dois à direita de bloco de concreto.	55
Figura 36 – Registro fotográfico da espessura do revestimento argamassado de 2 cm no centro do prisma de bloco cerâmico.....	56

Figura 37 - Registro fotográfico da espessura do revestimento argamassado de 2 cm no prisma de bloco cerâmico à esquerda e de bloco de concreto à direita.	56
Figura 38 – Protótipos com revestimento argamassado que foram submetidos a primeira simulação por capilaridade	57
Figura 39 – Protótipos com revestimento cerâmico que serão submetidos ao ensaio de capilaridade	57
Figura 40 – Esquema com indicação das variáveis deste estudo	58
Figura 41 – Corpos de prova utilizados nos ensaios de absorção de água dentro do banho maria para imersão em água em ebulição por 5h.	59
Figura 42 – Ensaio de índice de absorção d'água dos blocos na estufa (a) e imersos (b)	60
Figura 43 – Ensaio do cachimbo nos corpos de prova de argamassa	60
Figura 44 – Ensaio do cachimbo nos blocos cerâmico e de concreto	61
Figura 45 – Ensaio do cachimbo nos protótipos	61
Figura 46 – Lâmina constante de 5 mm durante o ensaio de absorção por capilaridade de corpos de prova cilíndricos	62
Figura 47 – Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade	63
Figura 48 – Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão	63
Figura 49 – Protótipos na estufa a 60°C	65
Figura 50 – Registro fotográficos do protótipo após sair da estufa (a) e após a conclusão do ensaio com lâmina d'água (b).	65
Figura 51 – Registro fotográfico da região do laboratório de conforto onde o ensaio foi conduzido	67
Figura 52 – Posição do tripé a 1 metro e bandeja com lâmina d'água constante de 5 mm.	68
Figura 53 – Equipamento utilizado para aferir a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar	69
Figura 54 – Captura de tela dos retângulos realizados no FlirTools para obtenção dos pixels.	72
Figura 55 – Croqui da área 1 (superior) e da área 2 (inferior).	72
Figura 56 - Áreas para obtenção das temperaturas médias por meio do software FlirTools	73

Figura 57 – Parte de trás do medidor de umidade onde está a área de contato (a), gabarito realizado para locação dos pontos de medição no protótipo com revestimento argamassado apenas (b) e com revestimento cerâmico (c).....	74
Figura 58 - Croqui com indicação das áreas de medição de umidade média.	74
Figura 59 – Revestimentos utilizados cortados nas dimensões adequadas, na seguinte ordem: ID1, 2, 3 e 4, respectivamente. Frente (a) e verso (b).....	76
Figura 60 – Termogramas Flir C5, Flir MR160 e imagem digital para os protótipos PCE (à esquerda) e PCO (à direita), nos intervalos de 10 minutos, 1h30, 3h, 6h, 24h, 48h e 72h (de cima para baixo).....	80
Figura 61 – Esquema que ilustra a permeabilidade divergente entre os diferentes substratos.....	81
Figura 62 - Termogramas obtidos pela Flir C5 e termogramas obtidos pelo medidor Flir MR160.....	85
Figura 63 – Gráficos de análise da influência do substrato em relação a variação de umidade (a), variação de temperatura (b), umidade na base (c) e temperatura na base (d), com intervalo de confiança de 0,95.....	88
Figura 64 – Gráficos de análise da influência da cor em relação a variação de umidade (a), variação de temperatura (b), umidade na base (c) e temperatura na base (d), com intervalo de confiança de 0,95.....	89
Figura 65 – Gráficos de análise da absorção de água em relação a variação de umidade (a), variação de temperatura (b), umidade na base (c) e temperatura na base (d), com intervalo de confiança de 0,95.....	90
Figura 66 – Gráficos de variação de umidade com relação a absorção de água e diferença de coloração (a), absorção de água e diferentes tipos de bloco (b).	91
Figura 67 – Gráficos de medição de umidade com relação a absorção de água e diferença de coloração (a), absorção de água e diferentes tipos de bloco (b).	91
Figura 68 – Termogramas capturados na primeira vez que o ensaio foi realizado. ...	92
Figura 69 – Posicionamento do refletor em frente ao protótipo no local do ensaio .	105
Figura 70 – Termogramas com indicação das temperaturas médias, de forma que a TAR foi de $27,9^{\circ}\text{C} \approx 28^{\circ}\text{C}$	106
Figura 71 – Fita isolante aplicada na superfície do protótipo	107
Figura 72 – Interface software FlirTools para ajuste da emissividade.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Prazos tecnicamente recomendados pela norma de garantias	19
Tabela 2 – Classificação dos poros em função do diâmetro segundo a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)	22
Tabela 3 – Alguns dos artigos utilizados na revisão de literatura sobre impactos da umidade na saúde	30
Tabela 4 – Classificação das placas cerâmicas quanto à absorção de água e conformação	33
Tabela 5 – Composição dos mock-ups utilizados no estudo realizado por Guolo <i>et al.</i> (2023)	49
Tabela 6 – Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos pela NBR 13749.	56
Tabela 7 – Nomenclatura adotada	58
Tabela 8 – Ensaio de absorção de água	59
Tabela 9 – Resultados obtidos no ensaio de absorção por capilaridade dos corpos de prova de argamassa cilíndricos	62
Tabela 10 – Resultados dos ensaios de resistência à tração	64
Tabela 11 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão	64
Tabela 12 – Peso dos protótipos após estufa e após realização do ensaio.	66
Tabela 13 – Medições de temperatura e UR do ar durante os ensaios	69
Tabela 14 – Especificações da câmera térmica utilizada (Flir C5)	70
Tabela 15 - Medidor de umidade com imagem térmica utilizado (Flir MR160)	70
Tabela 16 – Especificação dos revestimentos utilizados como acabamento	75
Tabela 17 – Resultados dos ensaios de determinação da absorção de água	77
Tabela 18 – Resultados obtidos no ensaio do cachimbo	78
Tabela 19 – Desvio padrão entre as temperaturas A1 e A2 PCE e PCO	82
Tabela 20 - Desvio padrão entre as medições de umidade nas áreas A1 e A2 entre PCE e PCO	83
Tabela 21 – Desvio padrão entre os valores de ΔU PCE e PCO	84
Tabela 22 – Tabela com os valores consolidados de ΔT e ΔU obtidos, além de umidade e temperatura da base	87
Tabela 23 - A absorção de água do material foi a única variável com influência significativa $p < 0,05$)	87

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – PANORAMA GERAL.....	15
1.1. INTRODUÇÃO	15
1.2. OBJETIVO.....	17
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	17
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. IMPORTÂNCIA DAS PERÍCIAS DE ENGENHARIA	18
2.2. UMIDADE NAS CONSTRUÇÕES.....	20
2.3. TIPOS DE SUBSTRATO	31
2.4. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA UMIDADE.....	34
2.4.1. Análise sensorial.....	34
2.4.2. Prospeções destrutivas.....	34
2.4.3. Ensaio de permeabilidade à água de SVVIE	34
2.4.4. Ensaio de estanqueidade à água de SVVE	36
2.4.5. Ensaio de absorção superficial pelo método do cachimbo	36
2.4.6. Termografia infravermelha.....	38
2.4.6.1. Variáveis da termografia infravermelha	41
2.4.6.1.1. Emissividade	41
2.4.6.1.2. Temperatura aparente refletida	41
2.4.6.1.3. Distância.....	42
2.4.6.1.4. Temperatura ambiente e umidade relativa do ar	42
2.4.6.2. Análise termográfica qualitativa e quantitativa.....	42
2.4.6.3. Técnicas de termografia ativa e passiva	43
2.4.7. Medidor de umidade	43
2.5. INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO E DO REVESTIMENTO	46
CAPÍTULO 3 – ESTUDO EXPERIMENTAL	52

3.1. CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS.....	53
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	58
3.2.1. Capacidade de absorção de água	58
3.2.2. Capacidade de absorção de água superficial (ensaio do cachimbo).....	60
3.2.3. Densidade de massa aparente no estado endurecido	61
3.2.4. Capacidade de absorção de água por capilaridade em corpos de prova cilíndricos	61
3.2.5. Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade em corpos de prova prismáticos	62
3.2.6. Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão.....	63
3.2.7. Ensaio de umidade ascendente.....	64
3.3. PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO POR TERMOGRAFIA E MEDIDOR DE UMIDADE.....	69
3.4. VARIÁVEIS DE ANÁLISE.....	75
3.5. ANÁLISE DOS DADOS APURADOS	76
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
4.1. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO	79
4.2. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO.....	84
4.3. APLICABILIDADE DAS TÉCNICAS E CORRELAÇÃO	91
4.4. RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS	93
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	94
SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE	105
1.1. Temperatura aparente refletida (TAR).....	105
1.2. Emissividade	106

CAPÍTULO 1 – PANORAMA GERAL

1.1. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização de construtores, incorporadores e consumidores sobre a importância da qualidade e durabilidade das edificações, impulsionada pela evolução das leis, pela atualização das normas técnicas e pela disseminação de informações, ainda não foi suficiente para conter o aumento expressivo da judicialização de vícios construtivos no Brasil, especialmente em programas habitacionais de interesse social.

Dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) apontam que o número de ações indenizatórias por vícios construtivos saltou de 3.301 em 2018 para uma projeção de 35,5 mil em 2023 (CBIC, 2023; CBIC, 2025). Em meio a esse cenário, evidencia-se a necessidade de perícias técnicas de qualidade, fundamentais para assegurar a credibilidade e a efetividade das decisões judiciais.

Entre os problemas mais recorrentes apontados nas edificações estão as manifestações patológicas associadas à umidade. A presença de umidade acelera o processo de deterioração e consequente surgimento de manifestações patológicas (ABNT, 2024, p. 26). Segundo dados compilados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2009), estima-se que entre 75% e 80% de todos os problemas em vedações de edifícios sejam causados pela presença de umidade. Exemplos atuais, como o megaconjunto habitacional Reserva Raposo em São Paulo, ilustram a frequência e a gravidade da presença de umidade em imóveis recém-entregues (Metrópoles, 2025).

Apesar da relevância do tema, a umidade em edificações é um fenômeno de difícil diagnóstico, principalmente em paredes revestidas, dada sua complexidade, variabilidade de causas e a influência de fatores ambientais e construtivos. De acordo com Henriques (2007), existem seis tipos principais de umidade nas construções, sendo a umidade ascendente uma delas. Esse fenômeno ocorre devido à capilaridade dos materiais de construção, que transportam a água para as camadas superiores, podendo provocar o surgimento de diversas manifestações patológicas, como eflorescências, criptoflorescências, manchas, corrosão de armaduras, descascamento e crescimento de microorganismos prejudiciais à saúde humana (Paixão; Amario, 2022).

Além disso, a ausência de procedimentos normativos específicos para a avaliação da umidade e a falta de consenso técnico sobre a influência dos diferentes acabamentos sobre a eficácia dos métodos não destrutivos, como a termografia e o medidor de umidade, tornam a detecção ainda mais incerta.

Diversos estudos têm demonstrado a influência do substrato e do revestimento na detecção de umidade por meio da termografia infravermelha. Oliveira *et al.* (2022) verificaram que revestimentos mais porosos, como o argamassado, favorecem a detecção da umidade ascensional em comparação a superfícies lisas e claras, como pintura, grés e porcelanato, sobretudo em ambientes com incidência solar.

Lourenço, Matias e Faria (2017) também destacaram que tanto a cor quanto o tipo de substrato impactam na identificação de anomalias, sendo a umidade mais facilmente detectável em superfícies escuras e em substratos com menor isolamento térmico. Guolo *et al.* (2023) reforçaram esses achados ao evidenciar que materiais tradicionais, como argamassa de cal, apresentam maior higroscopicidade e facilitam a ascensão da umidade, além de observarem que câmeras com maior resolução térmica capturam melhor os detalhes das anomalias.

Complementarmente, Rocha, Santos e Póvoas (2018) mostraram que o contraste térmico entre a superfície e o ambiente é determinante para a eficácia da técnica. Embora contrastes superiores a 1 °C sejam ideais, diferenças a partir de 0,2 °C já se mostraram capazes de indicar áreas afetadas, especialmente em ambientes internos. Os autores também reforçaram que a termografia, apesar de eficiente na identificação de padrões anômalos de umidade, não permite mensurar diretamente o teor de água, recomendando-se o uso de técnicas complementares para uma avaliação mais precisa.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a presença de umidade ascendente em protótipos de paredes de alvenaria utilizando métodos não destrutivos, especificamente a termografia e o medidor de umidade, para avaliar a influência do tipo de substrato (bloco de concreto e bloco cerâmico) e do acabamento superficial (revestimentos cerâmicos de diferentes porosidades e colorações) na detecção do fenômeno, contribuindo para o aprimoramento dos procedimentos técnicos aplicáveis às vistorias e perícias em edificações.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo analisar a presença de umidade ascendente em protótipos de paredes de alvenaria utilizando métodos não destrutivos para avaliar a influência do substrato e do revestimento cerâmico na detecção do fenômeno.

1.2.2. Objetivos específicos

Esse trabalho tem como objetivos específicos:

- Avaliar a aplicabilidade da termografia infravermelha e das medições de umidade no diagnóstico do fenômeno da umidade ascendente em paredes;
- Investigar a possibilidade de correlação entre os dados obtidos por termografia infravermelha e por medidor de umidade;
- Analisar a influência do tipo de bloco utilizado (cerâmico ou de concreto) na manifestação e detecção da umidade ascendente;
- Analisar o impacto da absorção de água e da coloração do revestimento cerâmico na resposta dos métodos de avaliação aplicados;
- Propor recomendações técnicas para a inspeção de umidade.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

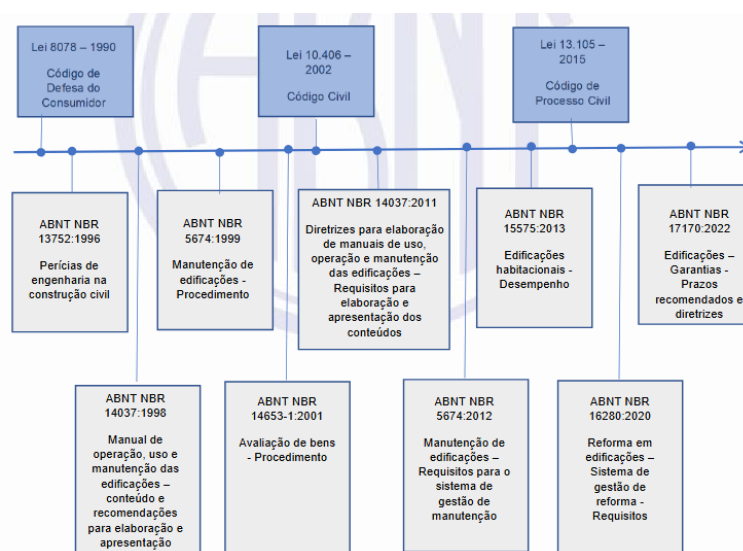
O presente trabalho está organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução, a justificativa para a realização do estudo, os objetivos propostos e a estrutura da pesquisa. No Capítulo 2, é desenvolvida a revisão bibliográfica, abordando os principais conceitos e estudos relacionados ao tema. O Capítulo 3 descreve o estudo experimental realizado em laboratório, abrangendo a análise dos componentes isolados, a influência do substrato e do revestimento na inspeção por medidor de umidade e termografia infravermelha. No Capítulo 4, são apresentadas as análises e os resultados obtidos a partir dos experimentos conduzidos. Por fim, o Capítulo 5 traz as conclusões do estudo, destacando as principais contribuições e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTÂNCIA DAS PERÍCIAS DE ENGENHARIA

Apesar da crescente conscientização de construtores e incorporadores sobre a importância da qualidade e da durabilidade das edificações — impulsionada tanto pela promulgação de leis quanto pela atualização de normas técnicas e pelo maior conhecimento dos consumidores sobre seus direitos (Figura 1), — observa-se um aumento expressivo na judicialização de vícios construtivos, especialmente nos programas habitacionais de interesse social (Folha, 2025).

Figura 1 – Marcos relevantes relacionados à perícia



Fonte: NBR 13752 (ABNT, 2024, p. v).

De acordo com Gomide *et al.* (2019) as determinações legais relativas à qualidade dos produtos evoluíram significativamente desde a promulgação da Lei Federal nº 8.078 de 1990, denominada Código de Defesa do Consumidor (CDC). A alínea "d" do item II do artigo 4º estabelece como direito básico do consumidor a “garantia dos produtos e serviços com padrões adequados de qualidade, segurança, durabilidade e desempenho” (Brasil, 1990). Sendo assim, o atendimento a esses requisitos legais é fundamental para a regularidade das entregas habitacionais.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), o número de novas ações indenizatórias por vícios construtivos aumentou de 3.301 em 2018 para 28,4 mil em 2021, com projeção de aproximadamente 35,5 mil ações em 2023, expondo evidente aumento do volume de judicializações na última década (CBIC, 2023; Folha SP, 2025).

Estudo realizado por Dias, Fernandes e Grossi (2024) evidencia que a qualidade dos laudos periciais elaborados por profissionais habilitados é determinante para a efetividade do processo judicial e a concretização da justiça. O artigo analisou laudos emitidos no âmbito do Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo (TJSP) e demonstrou que da amostragem avaliada, 71% dos documentos estavam em conformidade quando produzidos por peritos especializados, enquanto 29% não atendeu completamente aos critérios estabelecidos pelo Código de Processo Civil (Brasil, 2015) e pela NBR 13752 (ABNT, 2024) de perícias de engenharia, reforçando a necessidade de promover a qualificação e o aprimoramento técnico dos profissionais que atuam nessa área.

Considerando que de 75 a 80% das manifestações patológicas que afetam as fachadas das edificações estão relacionadas a problemas de umidade (WHO, 2009), é evidente que muitos imóveis têm sido entregues com manifestações patológicas associadas a presença de água ainda dentro do prazo de garantia legal (Tabela 1).

Tabela 1 – Prazos tecnicamente recomendados pela norma de garantias

Sistema	Descrição	Tipo de Falha	Prazo Tecnicamente recomendado
Rodapés	Rodapés de quaisquer naturezas	Deterioração por umidade	1 ano
Revestimentos de vedações verticais internas	Camada de revestimento que faz parte do sistema de vedação (por exemplo, revestimento argamassado sobre alvenaria)	Perda de estanqueidade	3 anos
	Camada de acabamento decorativo tinta látex	Perda de integridade da película (má aderência da película e descolamento, pulverulência, craqueamento), eflorescência, bolhas, bolor, fungo, mofo e algas	1 ano
Muros externos	Muros constituídos por quaisquer tipos de materiais e componentes	Deterioração por umidade	1 ano

Fonte: Adaptado da NBR 17170 (ABNT, 2022).

O problema em questão pode ser corroborado por meio do caso do megaconjunto de moradias populares Reserva Raposo que foi entregue em São Paulo em 2025 e em menos de três meses da entrega já apresentava vazamentos e mofo, com diversos pontos com presença de umidade nas paredes (Metrópoles, 2025).

De acordo com o Tribunal de Justiça do Rio Grande do Norte, consumidor de Mossoró foi indenizado após receber imóvel novo, com idade inferior a 1 ano e com inúmeros defeitos de construção, entre eles, umidade nas paredes (TJRN, 2023), evidenciando falhas nos processos construtivos e de controle de qualidade.

Sendo assim, em todas as fases de desenvolvimento de uma obra de construção civil há a necessidade de investigações técnicas que forneçam uma avaliação holística do estado de uma edificação, permitindo a detecção precoce de manifestações patológicas e outros problemas que possam comprometer sua integridade (Gomide *et al.*, 2021). As inspeções devem orientar o proprietário ou o condomínio a respeito dos planos de manutenção e conservação a fim de garantir que os subsistemas atinjam ou excedam a vida útil projetada.

De acordo com a NBR 5674 (ABNT, 2024a), a manutenção da edificação deve ser praticada assim que ela é colocada em uso. Segundo a NBR 5671 (ABNT, 1990), referente a participação dos intervenientes em serviços e obras de engenharia e arquitetura, é prerrogativa do usuário receber o Manual de Uso e Manutenção com instruções para utilização, conservação e manutenção do imóvel. A NBR 15575-1 indica que o manual deve conter os prazos de garantia tecnicamente recomendados e que o documento deve ser entregue assim que a edificação for disponibilizada para uso (ABNT, 2024b).

Realização de perícias e elaboração de documentos como os mencionados anteriormente não apenas resguardam os investimentos dos proprietários, mas também conferem prolongada durabilidade, manutenibilidade e contribuem significativamente para a preservação do patrimônio construído, segurança e bem-estar dos ocupantes.

2.2. UMIDADE NAS CONSTRUÇÕES

2.2.1. Porosidade e transporte de água

O transporte de água nos materiais de construção ocorre por diferentes mecanismos associados à estrutura porosa desses materiais e às condições higrotérmicas do ambiente. Entre os mecanismos existentes podem ser citados absorção, adsorção, permeabilidade e difusão (Paes, 2004).

Em materiais porosos utilizados na construção civil, esses mecanismos podem atuar simultaneamente, sendo a intensidade de cada um deles dependente das

características da microestrutura do material, como porosidade, distribuição do tamanho dos poros e grau de interconectividade. A absorção refere-se ao processo pelo qual um fluido penetra nos poros e capilares de um material poroso, sendo conduzido para o seu interior principalmente pela ação das forças intermoleculares (Paes, 2004).

Segundo Salomão (2016), existe um balanço de forças resultantes no contato do menisco da água e a parede dos poros, com formação de uma resultante entre as três tensões superficiais: entre o sólido e o líquido, entre o sólido e o gás e entre o líquido e o gás. A Figura 2 ilustra as tensões envolvidas neste processo. A absorção por pressão capilar é função da tensão superficial (σ), raio de curvatura (r) e do ângulo de contato (θ), conforme Equação 1, de forma que a água é succionada por pressão capilar (P_c) e vence a gravidade. A altura da umidade por ascensão capilar avança até o ponto em que é estabelecido equilíbrio entre a pressão capilar (P_c) e a pressão do ar. A altura em que ocorre esse equilíbrio da coluna de água no tubo é função do raio do poro (r), conforme equação 2.

Figura 2 - Balanço de forças resultante no contato do menisco (σ_{sl} = tensão superficial entre o sólido e o líquido; σ_{sg} = tensão superficial entre o sólido e gás; σ_{lg} = tensão superficial entre o líquido e o gás (σ_{lg}))



Fonte: Salomão (2016, p. 20).

$$P_c = P_{ar} - P_{água} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (1)$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r \rho g} \quad (2)$$

De acordo com Salomão (2016), os materiais de construção podem ser classificados conforme sua microestrutura em duas categorias principais: materiais

porosos e não porosos. A porosidade é definida como a relação entre o volume de vazios presente no material e seu volume total. Nesse contexto, distinguem-se dois tipos de porosidade: a porosidade fechada, caracterizada por poros isolados que não se conectam entre si, e a porosidade aberta, na qual os poros apresentam interconexão, como é o caso da maioria dos materiais de construção.

Os poros podem ser classificados em três grupos (Tabela 2). Quanto menor o diâmetro dos capilares, maior é a altura que a água pode atingir por ação capilar, conforme Equação 2. Assim, materiais com elevada porosidade aberta e microcapilares favorecem a ascensão da umidade ao longo das paredes, enquanto aqueles com poros maiores ou porosidade fechada tendem a limitar esse processo (Torres, 2014).

Tabela 2 – Classificação dos poros em função do diâmetro segundo a IUPAC
(*International Union of Pure and Applied Chemistry*)

Classificação	Diâmetro
Microporos	Inferior a 2 μm
Mesoporos	2 μm a 50 μm
Macroporos	Superior a 50 μm

Fonte: (Torres, 2014).

Segundo Paes (2004), além da proporção água/aglomerante e método empregado de mistura, a porosidade do substrato também pode influenciar na formação da estrutura dos poros, uma vez que substratos muito porosos podem alterar o teor de água das argamassas no momento da aplicação e modificar sua porosidade. Em seu estudo a autora comparou o transporte de água em argamassa aplicadas em blocos de concreto e cerâmico.

Paes (2004), ao investigar o transporte de água em argamassas no estado fresco, verificou que técnicas como a porosimetria por intrusão de mercúrio e a dessorção de vapor são ferramentas sensíveis para a caracterização da estrutura porosa de argamassas e de seus substratos. Esses métodos permitem avaliar a distribuição do tamanho dos poros e compreender como diferentes fatores influenciam a formação da rede porosa dos materiais.

Os resultados obtidos indicaram que o tipo de substrato exerce influência significativa na estrutura porosa das argamassas, especialmente em diferentes regiões do sistema de revestimento, como na interface entre argamassa e substrato

e na região interna do revestimento. Observou-se que, na zona de interface, os poros tendem a apresentar diâmetros menores quando comparados aos observados na região interna do revestimento, o que pode estar associado à intensa sucção de água pelo substrato nesse local (Paes, 2004).

2.2.2. Causas da presença de umidade e fatores que influenciam a umidade por capilaridade

De acordo com Henriques (2007), as formas de manifestação da umidade podem ser organizadas em seis grupos principais: umidade de construção, umidade do solo, umidade de precipitação, umidade de condensação, umidade devido a fenômenos higroscópicos e umidade devido a causas fortuitas. É comum que dois ou mais tipos de fenômenos apareçam associados, o que pode dificultar o processo de diagnóstico, principalmente em paredes revestidas.

A presença de umidade do solo ocorre quando coexistem as seguintes situações: paredes em contato com a água do solo, utilização de materiais com elevada capilaridade e inexistência ou ineficiência de barreiras contra umidade nas paredes (Henriques, 2007).

Na umidade originada do solo por ascensão capilar o avanço ocorre até que se alcance um equilíbrio entre a água que entra nos poros por capilaridade e a água que sai por evaporação (Henriques, 2007; Freire; Mesquita; Oliveira, 2021; Paixão; Amario, 2022), conforme equação 1 apresentada anteriormente. De acordo com Henriques (2007), Freitas, Torres e Guimarães (2008) e Torres (2014), a umidade ascensional é influenciada principalmente pelos seguintes fatores:

- Condições climáticas (temperatura ambiente e umidade relativa do ar)
- Insolação
- Presença de sais
- Porosidade e porometria dos materiais
- Espessura da parede
- Natureza dos materiais de revestimento

As condições climáticas influenciam significativamente o comportamento do fenômeno em paredes. Regiões com maior umidade relativa do ar apresentam maior concentração de umidade ascensional (Freire; Mesquita; Oliveira, 2021). Isso ocorre porque quando a umidade relativa do ar é elevada, a evaporação acontece com menor

intensidade, provocando maior umidade nas paredes. Quando a umidade relativa é baixa, a evaporação é máxima e altura de progressão de umidade é inferior.

A insolação é outro fator que influencia a umidade ascendente, podendo ser observadas diferentes alturas em paredes idênticas submetidas a diferentes orientações geográficas. Paredes voltadas para o norte, por exemplo, são mais suscetíveis à umidade ascendente (Torres, 2014).

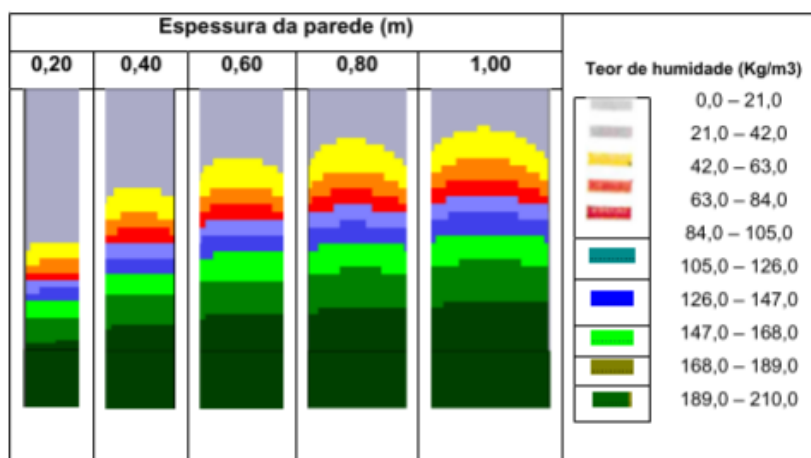
Entende-se que isso se deve ao fato de que quando a água atinge as superfícies das paredes e se evapora, os sais cristalizam e ficam ali depositados, provocando a colmatção dos poros. A colmatção reduz as condições de evaporação, como no caso da aplicação de revestimentos impermeáveis, o que também favorece o aumento da altura da umidade (Henriques, 2007; Torres, 2014).

A presença de sais solúveis nos materiais de construção exerce influência no fenômeno da umidade ascendente. Quando transportados pela água por meio dos poros, esses sais podem se cristalizar à medida que a umidade evapora, gerando pressões internas que superam a resistência do material, resultando em fissuras, desagregação e perda de massa. Esse processo é intensificado por ciclos sucessivos de dissolução e recristalização (Torres, 2014).

A deterioração é particularmente dependente do tipo de sal presente, bem como do tamanho e arranjo dos poros do substrato. Dentre os sais mais comuns estão os carbonatos, cloretos, nitratos e sulfatos, sendo estes últimos altamente higroscópicos e expansivos durante a cristalização (Torres, 2014).

De acordo com Freitas, Torres e Guimarães (2008), a espessura das paredes e a natureza dos materiais de revestimento exercem influência direta sobre a altura atingida pela umidade ascendente. Estudos de simulação realizados pelos autores demonstram que, ao se aumentar a espessura da parede de 0,20 m para 1,00 m, observa-se um aumento significativo na altura alcançada pela frente úmida (Figura 3). Esse comportamento está relacionado à maior capacidade de retenção de umidade em paredes mais espessas, bem como à dificuldade de evaporação da água acumulada internamente. De acordo com Henriques (2007), a Igreja de S. Bernardo em Roma, cujas paredes apresentam 4 m de espessura permitiram a ascensão da água até a altura de 5,3 m.

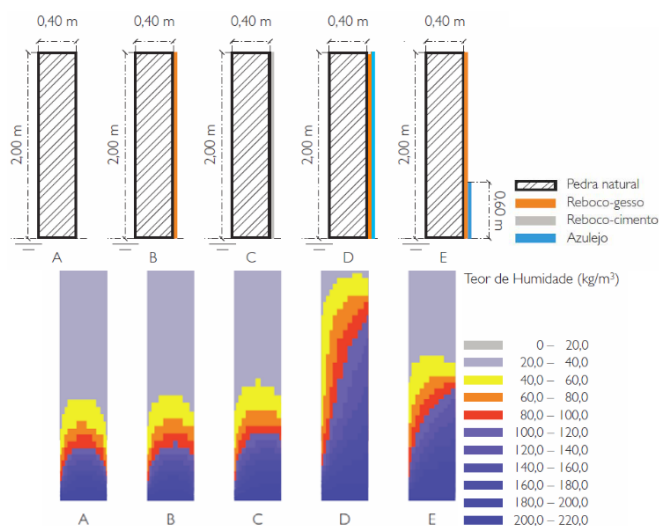
Figura 3 - Influência da espessura da parede na altura da umidade ascendente.



Fonte: Torres (2014).

Além disso, a presença de revestimentos pouco permeáveis ao vapor d'água, como revestimento cerâmico, intensifica esse efeito, promovendo elevações ainda maiores da frente de umidade, uma vez que dificultam a dissipação da umidade para o ambiente externo (De Freitas; Guimarães, 2014), conforme Figura 4. Dessa forma, tanto a espessura quanto a permeabilidade dos materiais de acabamento devem ser consideradas na análise do comportamento higroscópico das edificações.

Figura 4 – Influência da natureza do acabamento na altura da umidade ascendente



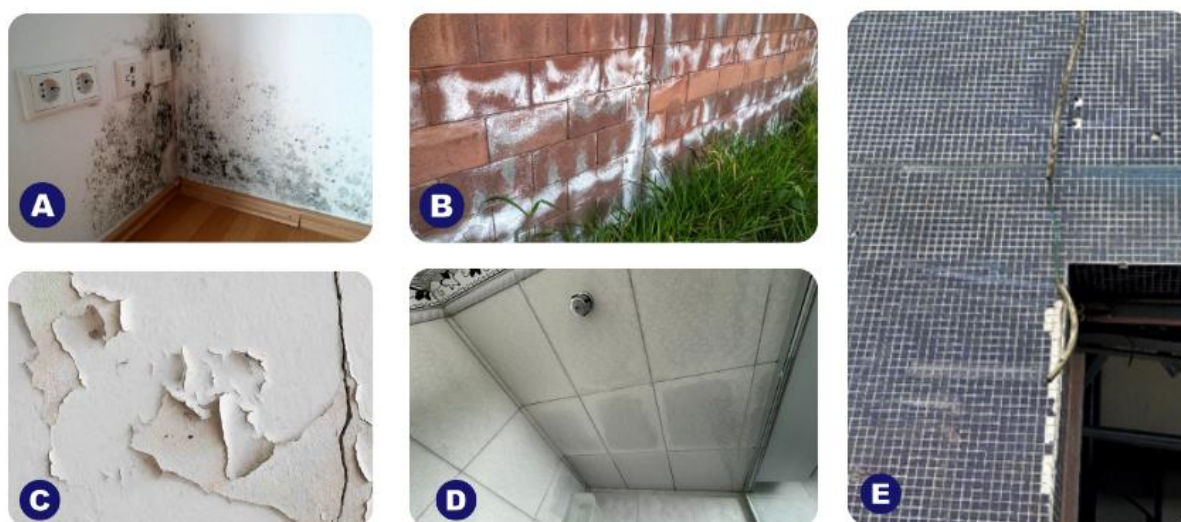
Fonte: De Freitas e Guimarães (2014).

2.2.3. Manifestações patológicas associadas a presença de umidade

A presença de umidade acelera o processo de deterioração e consequente surgimento de manifestações patológicas, comprometendo a durabilidade dos

sistemas construtivos, prejudicando a habitabilidade e a saúde dos usuários (ABNT, 2024, p. 26). Entre as principais manifestações patológicas associadas a presença de umidade em edificações estão proliferação de microrganismos (como fungos e bolores), eflorescência, criptoflorescências, sinais de degradação, presença de aberturas, manchas, corrosão de armaduras e deslocamento do revestimento (Belon, 2019; Paixão; Amario, 2022). A Figura 5 ilustra algumas das manifestações patológicas mencionadas.

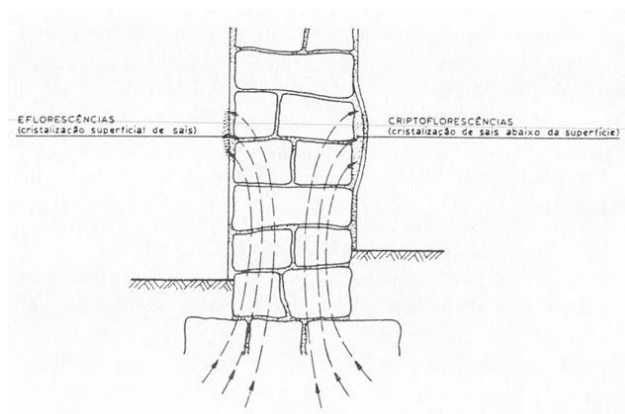
Figura 5 – Algumas das principais manifestações patológicas causadas pela presença de umidade: proliferação agentes biológicos (A), eflorescência (B), degradação da pintura e aberturas (C), manchas (D) e deslocamento do revestimento (E).



Fonte: Autor.

Quando as paredes entram em contato com a água, os sais existentes no terreno e nos próprios materiais de construção são dissolvidos e transportados por capilaridade. Quando a água atinge as superfícies das paredes e se evapora, os sais cristalizam e ficam ali depositados. A deposição dos sais à superfície pode dar origem à formação de eflorescências ou, quando a cristalização ocorre sob os revestimentos de parede, criptoflorescências (Henriques, 2007), conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Mecanismo de formação de eflorescência e criptoflorescência

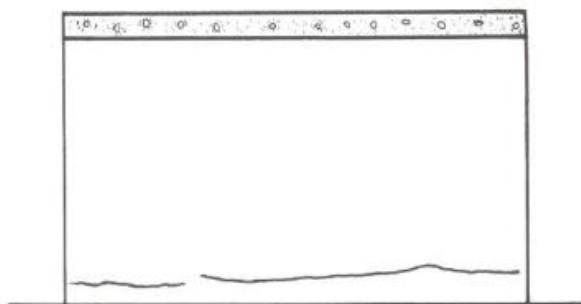


Fonte: Henriques (2007, p. 7).

Segundo Thomaz (2020), a umidade do solo é transportada por capilaridade através dos poros dos materiais de construção, afetando especialmente as regiões inferiores das paredes, onde, em muitos casos, há ausência ou falha na impermeabilização de base. Nessa condição, ocorre um acúmulo de umidade nos componentes da alvenaria em contato direto com o solo, provocando processos de expansão, degradação de materiais e, conseqüentemente, a formação de aberturas.

Ainda de acordo com Thomaz (2020), trincas horizontais tendem a surgir na base das paredes quando a impermeabilização do alicerce é mal executada (Figura 7). Isso ocorre porque os materiais próximos ao solo sofrem movimentações diferenciadas em relação às fiadas superiores, que estão mais expostas à insolação e à perda de umidade por evaporação. Essas trincas, frequentemente acompanhadas de eflorescências salinas, são indicativas de processos higroscópicos em curso, tornando-se elementos diagnósticos importantes nas inspeções de manifestações patológicas ligadas à umidade ascensional.

Figura 7 – Trinca horizontal na base da alvenaria por efeito da umidade do solo



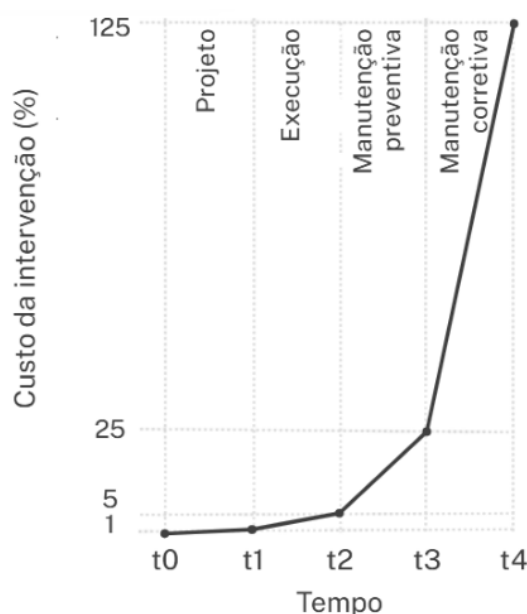
Fonte: Thomaz (2020, p. 44).

2.2.4. Impacto econômico, social e de saúde

A presença de umidade nas edificações acelera o processo de deterioração e influencia negativamente a durabilidade dos sistemas construtivos, provocando impactos significativos nos âmbitos econômico, social e de saúde. Do ponto de vista econômico, os custos relacionados à recuperação de áreas afetadas por manifestações patológicas, como as provocadas por umidade, podem atingir valores elevados, tanto para construtoras quanto para os usuários finais. A chamada “Lei dos 5”, proposta por Sitter ainda na década de 1980, ilustra que quanto mais tardia for a intervenção, maior será o custo (Santos, 2018).

Problemas resolvidos ainda na fase de projeto têm custo relativo de 1%, enquanto intervenções durante a execução, manutenção preventiva ou manutenção corretiva podem elevar os custos em 5%, 25% e 125%, respectivamente, de forma exponencial (Figura 8). Dessa forma, o planejamento adequado e ações preventivas são fundamentais para reduzir os impactos econômicos e aumentar a durabilidade das edificações (Helene, 1992).

Figura 8 – Lei de Sitter ou Lei dos 5



Fonte: Adaptado de Helene (1992).

Um exemplo prático de que os custos de reparo aumentam exponencialmente à medida que o problema permanece sem solução pode ser associado ao Edifício Copan, um dos prédios mais famosos do estado de São Paulo, projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer na década de 1950. Segundo laudos disponibilizados pela

mídia, o prédio enfrentava problemas de manutenção de fachada, como infiltrações e queda de pastilhas há décadas, tendo causado acidentes (G1, 2023a). A primeira etapa da obra de reforma que foi embargada em 2015, e retomada em 2023, deve custar R\$16,3 milhões e tem como objetivo a recuperação das estruturas e substituição das pastilhas de porcelana conforme as originais (Folha SP, 2023).

No âmbito social, é evidente que a presença de umidade afeta diretamente a qualidade de vida dos usuários, comprometendo o conforto, a segurança e o valor patrimonial do bem. De acordo com a NBR 14653-2 de Avaliação de Imóveis Urbanos (ABNT, 2011), deve ser aplicada depreciação física em função da presença de manifestações patológicas nas edificações.

Do ponto de vista da saúde, a presença de umidade em ambientes internos, como residências, escolas, hospitais e edifícios comerciais, representa um problema grave para a saúde humana, gerando condições insalubres para os usuários (Costa *et al.*, 2024; Farias; Evangelista, 2017). De acordo com a revisão de literatura realizada por Costa *et al.* (2024) com trinta artigos científicos da área médica, o crescimento do mofo é favorecido pelo excesso de umidade e pela degradação de materiais, liberando micotoxinas que desencadeiam uma cascata de eventos inflamatórios e imunológicos a nível molecular.

A Tabela 3 expõe alguns dos artigos citados na referida revisão de literatura. Segundo Costa *et al.* (2024), a exposição prolongada a esses bioaerossóis pode resultar em doenças respiratórias, como asma e rinite alérgica, além de agravar quadros emocionais, como depressão, e causar danos neurológicos. A concentração dessas partículas em espaços fechados afeta diretamente a qualidade do ar interno, tornando a identificação e o controle da umidade fundamentais para a prevenção de danos à saúde.

Tabela 3 – Alguns dos artigos utilizados na revisão de literatura sobre impactos da umidade na saúde

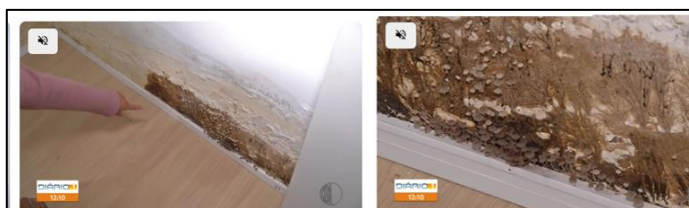
AUTOR, ANO	BASE DE DADOS	TÓPICO
Lee, 2024	<i>Nature</i>	Mofo no ar interno e alergias
Golofit-Szymczak, 2023	<i>Environmental Science and Pollution Research International</i>	Toxinas do mofo em automóveis
Harding, 2023	<i>Behavioural Brain Research</i>	Efeitos neurológicos do mofo
Will Cole, 2023	<i>Change the Air Summit</i>	Mecanismo autoimune contra o mofo
Prapamontol, 2023	<i>Environmental Research</i>	Mofo em escolas e reações respiratórias
Puhlmann, 2023	<i>Microorganisms</i>	Exposição ao mofo em hospital
Vesper, 2023	<i>International Journal of Hygiene and Environmental Health</i>	Queixas respiratórias em ambientes com mofo
Coulburn, 2022	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	Mofo em residências
Felipo, 2022	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	Fatores de risco para o mofo em residências
Kumar, 2022	<i>Plos One</i>	Risco de micro-organismos no ar interno
Sothorn, 2022	<i>Annals Of the American Thoracic Society</i>	Antígenos de mofo encontrados em residências
Vílen, 2022	<i>Environmental Research</i>	Melhora de função pulmonar em ambientes livres de mofo
Suojalehto, 2021	<i>International Journal of Molecular Science</i>	Mofo relacionado com sintomas de asma
Guo, 2020	<i>Indoor air</i>	Níveis de mofo em ambientes fechados
Holme, 2020	<i>Indoor Air</i>	Mofo e qualidade do ar interno
Lu, 2020	<i>Environment International</i>	Mofo e rinite

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2024), que revisaram mais de 30 estudos sobre o tema.

A reportagem apresentada na sequência reforça os impactos previamente discutidos, ao relatar um caso ocorrido em um apartamento térreo localizado em Mogi das Cruzes (G1, 2022). Nessa situação, a presença generalizada de umidade na base das paredes resultou na proliferação de agentes biológicos, incluindo o surgimento de bolor e cogumelos, evidenciando um avançado estado de degradação dos revestimentos de parede, piso e rodapés do imóvel.

A permanência dessa condição ao longo do tempo acarreta não apenas elevados custos com reparos e desvalorização patrimonial, como também compromete significativamente o conforto e a saúde da moradora. Segundo o relato, a residente afirma não ter disposição para sair de casa e menciona acordar diariamente com dores de cabeça, sintomas compatíveis com ambientes insalubres e contaminados por fungos (G1, 2022).

Figura 9 – Mofo e cogumelos tomam conta de apartamento térreo em Mogi das Cruzes



Fonte: (G1, 2022).

2.3. TIPOS DE SUBSTRATOS

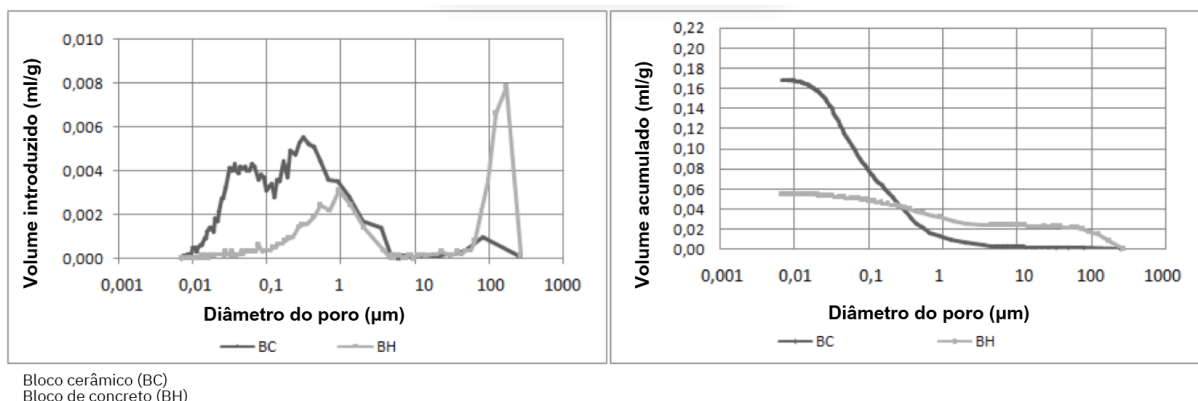
O substrato sobre o qual se aplica o revestimento possui papel fundamental no desempenho do sistema como um todo. Dentre os substratos mais utilizados na construção civil brasileira, destacam-se os blocos cerâmicos e os blocos de concreto, cujas características físico-mecânicas distintas podem influenciar a permeabilidade dos revestimentos aderidos de forma significativa (Hattge, 2004; Paes, 2004).

De acordo com a NBR 15270-1 (ABNT, 2023a) para bloco cerâmico sem função estrutural em parede vazadas na horizontal, a absorção de água varia de 8 a 25%. De acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2016) para bloco de concreto classe B a absorção de água deve ser $\leq 10\%$, expondo diferentes absorções quando comparados os substratos. Além das referências normativas relativas à absorção total de água, estudos experimentais evidenciam que o comportamento do transporte de água na interface entre a argamassa e o substrato está diretamente relacionado às características da porosidade crítica dos blocos utilizados como base (Hattge, 2004; Paes *et al.*, 2014).

Estudo realizado por Paes *et al.* (2014) demonstrou por meio de ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio que o bloco cerâmico apresenta um volume total de poros aproximadamente três vezes maior do que o bloco de concreto (Figura 10), comportamento compatível com os valores de absorção de água estipulados. Contudo, no intervalo de poros com diâmetros entre 5 e 1000 μm , considerados

mesoporos e macroporos, o bloco de concreto possui maior volume, o que justifica sua taxa de absorção inicial de água por capilaridade mais elevada em comparação ao bloco cerâmico.

Figura 10 – Distribuição dos poros nos blocos de concreto (BH) e cerâmico (BC)



Fonte: Paes *et al.* (2014, p. 179).

Os revestimentos utilizados nas edificações podem ser classificados em dois grupos: aderidos e não aderidos, sendo os sistemas aderidos os mais tradicionalmente utilizados no Brasil (Gomide *et al.*, 2021). O sistema aderido é composto por camadas sucessivas aplicadas diretamente sobre o substrato, incluindo o chapisco, o emboço e o reboco, ou, alternativamente, a aplicação de uma única camada conhecida como “emboço paulista” sobre o chapisco.

De acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2024b), a vida útil do sistema de revestimento interno aderido deve ser de no mínimo 13 anos e de revestimento aderido em fachada deve ser de no mínimo 20 anos. O atendimento a esses critérios está diretamente relacionado à correta especificação e execução dos sistemas de revestimento, incluindo o respeito às espessuras admissíveis, conforme definido pela NBR 13749 (ABNT, 2013): entre 5 mm e 20 mm para paredes internas e entre 20 mm e 30 mm para paredes externas.

As camadas de acabamento aplicadas sobre o sistema de revestimento argamassado, como as tintas, texturas acrílicas e revestimentos cimentícios, exercem funções essenciais tanto do ponto de vista estético quanto funcional. Além do papel decorativo, esses materiais atuam como barreira protetiva, reduzindo a permeabilidade do sistema de revestimento e contribuindo diretamente para sua durabilidade, especialmente em ambientes externos (Gomide *et al.*, 2021).

Os revestimentos cerâmicos são comumente utilizados como acabamento em sistemas de vedação tanto em ambientes internos quanto em fachadas devido à sua maior durabilidade. É um sistema que possibilita facilidade de limpeza, contribui para o desempenho de estanqueidade do conjunto do revestimento, proporciona isolamento térmico e acústico, variedade de cores e flexibilidade de composições (Esquivel, 2001; Pezzato, 2010; Pacheco; Vieira, 2017; Pessanha *et al.*, 2019; Saraiva *et al.*, 2021).

A NBR ISO 13006 (ABNT, 2022) classifica os revestimentos cerâmicos quanto ao tipo de absorção de água e método de conformação. Essa classificação é essencial para garantir o desempenho esperado do revestimento em função do ambiente e das solicitações às quais será submetido (Tabela 4). O método de fabricação por prensagem a seco (B) é o método mais comum na fabricação de revestimentos cerâmicos, conferindo maior regularidade dimensional e resistência quando comparado ao método por extrusão (A).

Com relação a absorção de água, os revestimentos cerâmicos são classificados em grupo I (baixa absorção, $\leq 3\%$), grupo II (média absorção, entre 3% e 10%) e grupo III (alta absorção de água, $>10\%$). Destaca-se que os dois primeiros grupos são subdivididos em Ia, Ib, IIa e IIb, apresentando limites de absorção diferentes entre si, dentro do intervalo dos seus respectivos grupos I e II, sendo que as tipologias de porcelanato (grupo Ia) e cerâmica semi porosa (grupo IIb) são as mais produzidas na região do estudo.

Tabela 4 – Classificação das placas cerâmicas quanto à absorção de água e conformação

Conformação	Grupo I $E_v \leq 3\%$	Grupo II _a $3 < E_v \leq 6\%$	Grupo II _b $6 < E_v \leq 10\%$	Grupo III $E_v > 10\%$
A Extrudada	Grupo AI _a $E_v \leq 0,5\%$ (ver Anexo M)	Grupo AI _{a-1} ^a (ver Anexo B)	Grupo AI _{b-1} ^a (ver Anexo D)	Grupo AIII (ver Anexo F)
	Grupo AI _b $0,5 < E_v \leq 3\%$ (ver Anexo A)	Grupo AI _{a-2} ^a (ver Anexo C)	Grupo AI _{b-2} ^a (ver Anexo E)	
B Prensada a seco	Grupo BI _a $E_v \leq 0,5\%$ (ver Anexo G)	Grupo BII _a (ver Anexo J)	Grupo BII _b (ver Anexo K)	Grupo BIII ^b (ver Anexo L)
	Grupo BI _b $0,5 < E_v \leq 3\%$ (ver Anexo H)			
^a Grupos AI _a e AI _b são divididos em dois subgrupos (Partes 1 e 2) com diferentes especificações de produto.				
^b Grupo BIII engloba apenas placas esmaltadas. Existe uma baixa quantidade de placas não esmaltadas prensadas a seco com absorção de água superior a 10% em fração de massa, as quais não estão cobertas por este grupo de produto.				

Fonte: NBR ISO 13006 (ABNT, 2022, p. 8).

2.4. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA UMIDADE

2.4.1. Análise sensorial

A análise sensorial constitui-se como uma das etapas iniciais no processo de diagnóstico de manifestações patológicas relacionadas à umidade em edificações. Essa técnica se fundamenta na percepção direta por meio dos sentidos humanos — visão, olfato e tato — e é potencializada pela experiência prévia do especialista, bem como por uma anamnese detalhada com os usuários do imóvel (Gomide *et al.*, 2021).

A partir dessa abordagem inicial, é possível identificar indícios como manchas, eflorescências, desprendimentos de revestimento, odores característicos de mofo ou sensação de umidade nas superfícies, que permitem a formulação de hipóteses diagnósticas e o direcionamento de investigações mais aprofundadas. Com o avanço da tecnologia, a análise sensorial também pode ser ampliada pelo uso de drones equipados com câmeras convencionais e termográficas, recurso especialmente útil em fachadas ou áreas de difícil acesso, otimizando a inspeção e contribuindo para a documentação técnica da ocorrência (Gomide *et al.*, 2021; Tondelo; Barth, 2019).

2.4.2. Prospecções destrutivas

A abertura de janela de inspeção é um método investigativo complementar, que envolve a remoção localizada de revestimentos e camadas construtivas para permitir a inspeção direta do substrato onde se manifesta a patologia. Essa abordagem possibilita avaliar características importantes do sistema construtivo, como a espessura e a composição das camadas do revestimento, a qualidade do substrato, o preparo superficial, e a profundidade de fissuras ou trincas (Gomide *et al.*, 2021).

A prospecção destrutiva também permite verificar a presença de elementos construtivos como vergas, contravergas, juntas de movimentação, reforços com telas metálicas, ou falhas de aderência da argamassa, contribuindo para a identificação das causas primárias de infiltrações e umidade quando a avaliação visual não é suficiente para esclarecer o quadro observado (Gomide *et al.*, 2021).

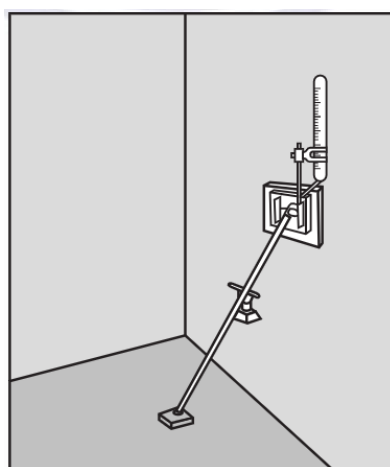
2.4.3. Ensaio de permeabilidade à água de SVVIE

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2021b), a verificação da permeabilidade à água de um sistema de vedação vertical interno ou externo (SVVIE) consiste na submissão de um trecho de parede à presença de água, com pressão constante, por meio de uma câmara de dimensões internas 16 cm x 34 cm acoplada à parede com

selante ou outro material (Figura 11). A bureta graduada que fica acoplada à câmara indica o volume de água infiltrada.

As leituras devem ocorrer aos 30 minutos, 1h, 2h, 4h, 6h e 24h. O nível de água deve ser mantido constante durante o ensaio. De acordo com o item 10.2.1 da NBR 15575-4 (ABNT, 2021b), o critério para considerar que o sistema de vedação vertical é estanque é que a quantidade de água que penetra não pode ser superior a 3 cm³ por um período de 24h.

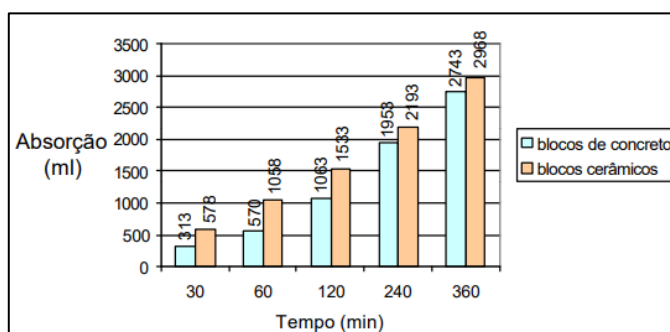
Figura 11 – Acoplamento da câmara de ensaio à parede



Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2021b).

Estudo realizado por Hattge (2004) em relação a permeabilidade de paredes com blocos de concretos e blocos cerâmicos expôs que embora os blocos cerâmicos apresentem maior absorção de umidade, essa diferença tende a reduzir com o tempo. Ao final do ensaio, a absorção dos blocos cerâmicos foi apenas 8% superior à dos blocos de concreto, indicando que o comportamento de absorção entre as unidades se aproxima com o avanço do tempo de exposição Figura 12.

Figura 12 - Média de absorção de água pelo método da câmara acoplada

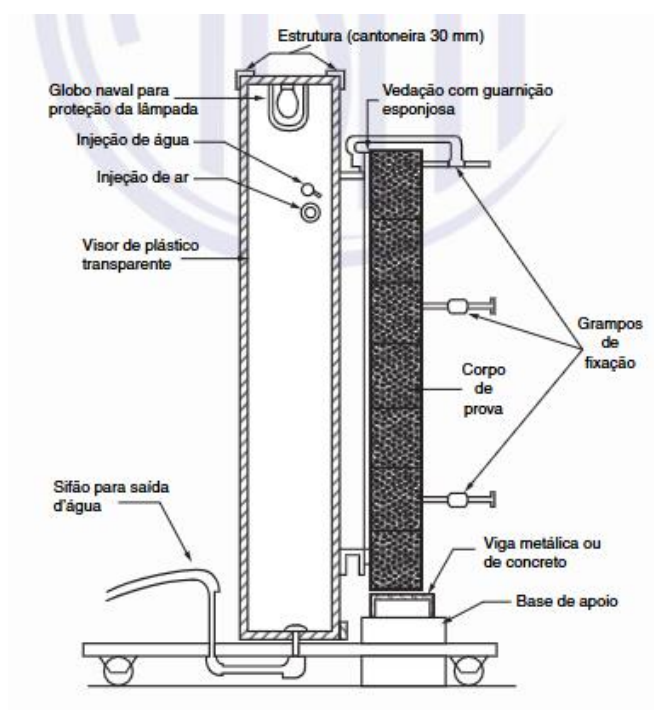


Fonte: Hattge (2004).

2.4.4. Ensaio de estanqueidade à água de SVVE

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2021b), o ensaio de verificação de estanqueidade à água do sistema de vedação vertical externo deve ser realizado em laboratório. O ensaio consiste em submeter durante período específico a face externa de um corpo de prova do SVVE a uma vazão de água, criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face. As dimensões do corpo de prova devem ser de no mínimo 105 cm x 135 cm (largura x comprimento), conforme Figura 13.

Figura 13 – Esquema de montagem do corpo de prova para o ensaio de estanqueidade



Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2021b, p. 47).

2.4.5. Ensaio de absorção superficial pelo método do cachimbo

De acordo com Silva *et. al.* (2021), um método simples e não destrutivo para avaliar a permeabilidade à água é o método do cachimbo disposto na NIT 224 (CSTB, 2002) e Rilem Test Method N. II.4 (RILEM, 2015). Os cachimbos de vidro ou Tubos de Karsten devem ser acoplados a superfície com selante ou material similar. Os tubos devem apresentar volume graduado de 4 ml e serem completados com água por meio de pipeta. As leituras devem ser realizadas no tempo de 5, 10, e 15, podendo ser monitorada por 30 e 60 minutos ou período superior.

A adoção deste ensaio para avaliar a permeabilidade de sistemas de revestimento compostos por argamassas e hidrorrepelentes é respaldada por publicações técnicas e científicas (Silva *et al.*, 2021; Herrmann *et al.*, 2019, Hattge, 2004). Na literatura, esse método tem sido utilizado com diferentes finalidades, tais como: descartar a hipótese de infiltração de umidade proveniente de chuva em fachadas externas (Grossi, 2018), comparar a eficácia relativa à capacidade de diferentes produtos quanto à sua capacidade de impermeabilização (Jantsch *et al.*, 2021; Joffily; Santana; Aleixo, 2018), e analisar a permeabilidade superficial de paredes de alvenaria executadas com blocos cerâmicos e de concreto (Hattge, 2004).

Os ensaios de absorção de água pelo método do cachimbo realizados por (Hattge, 2004). evidenciaram diferenças significativas entre os materiais testados e as regiões avaliadas das alvenarias. No caso da parede de blocos cerâmicos sem revestimento, a aplicação do cachimbo diretamente sobre o corpo dos blocos resultou em absorção média crescente ao longo do tempo, tendo absorvido 1,85 ml ao final de 15 minutos. No entanto, quando aplicado sobre as juntas verticais e horizontais dos blocos cerâmicos, a absorção dos 4 ml ocorreu antes dos 15 minutos, indicando maior permeabilidade nessas regiões, podendo estar associado ao processo de fabricação dos blocos por extrusão e maior absorção de água da argamassa (Hattge, 2004).

Na parede composta por blocos de concreto, também sem revestimento, o comportamento foi ainda mais crítico: independentemente do ponto de aplicação (juntas ou face do bloco), os 4 ml de água foram absorvidos nos primeiros 5 minutos (Hattge, 2004). Quando o ensaio do cachimbo foi realizado na presença de revestimento argamassado, observou-se que a parede com blocos de concreto continuou apresentando um pior desempenho em relação a estanqueidade.

Os resultados obtidos por meio do método do cachimbo evidenciam que, embora esse ensaio não seja adequado para quantificações precisas da absorção de água, devido à rápida superação do volume máximo do cachimbo em diversos pontos, ele se mostrou útil para uma análise qualitativa do desempenho das alvenarias quanto à estanqueidade (Hattge, 2004).

Figura 14 – Ensaio do cachimbo em vista lateral (a) e frontal (b).



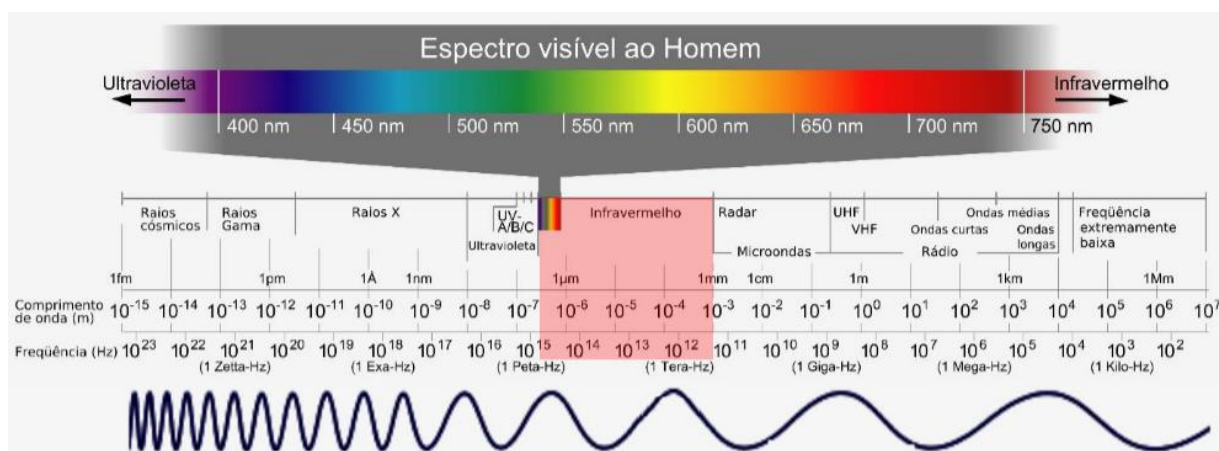
Fonte: Hattge (2004, p. 79).

2.4.6. Termografia infravermelha

Ensaio não destrutivo (END) são métodos utilizados para avaliar as propriedades e integridade de materiais, componentes ou estruturas sem causar danos permanentes ou comprometer sua utilidade, permitindo número ilimitado de testes. De acordo com *The American Society for Nondestructive Testing* (ASNT, s. d.) existem até 16 tipos diferentes de ensaios não destrutivos, classificados de acordo com o tipo de sinal ou o equipamento utilizado, sendo que cada um deles apresenta suas próprias capacidades e limitações, a exemplo da termografia infravermelha.

A termografia infravermelha é uma técnica de ensaio não destrutivo baseada na medição e registro da radiação térmica emitida pela superfície de um corpo, permitindo a visualização do perfil de temperatura por meio de imagens denominadas termogramas. Essa radiação é restringida a parte do espectro eletromagnético, especificamente da faixa do infravermelho (Figura 15). Todo corpo com temperatura acima do zero absoluto (0 K ou $-273,15^{\circ}\text{C}$) emite radiação eletromagnética em função da agitação térmica de suas partículas (Andrade, 2020).

Figura 15 - Modelo do espectro eletromagnético com a representação de suas respectivas faixas. Nele é detalhado a faixa do espectro visível, frisada a faixa de radiação infravermelha e ilustrada de forma figurativa o aumento do comprimento de onda com a diminuição da frequência



Fonte: Andrade (2020).

Os sensores presentes nas câmeras termográficas captam a radiação infravermelha emitida pelos corpos e a convertem em sinais elétricos, os quais são processados e representados em imagens digitais, nas quais cada pixel corresponde a uma temperatura específica da superfície. Essas imagens podem ser geradas em diferentes escalas de cores, facilitando a análise visual das variações térmicas (Andrade, 2020).

A interpretação dos termogramas, no entanto, exige atenção a fatores que influenciam a temperatura aparente medida, como a emissividade da superfície, temperatura aparente refletida, umidade relativa do ar e temperatura ambiente por exemplo. Por essa razão, o uso de softwares específicos é fundamental para a adequação antes da análise quantitativa dos dados obtidos (Andrade, 2020).

É uma técnica que tem sido utilizada na construção civil para detecção de manifestações patológicas em edificações, incluindo aquelas relacionadas à presença de umidade (Aguilar *et al.*, 2023; Edis; Flores-Colen; De Brito, 2014; Filho *et al.*, 2021; Guolo *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2022; Lourenço; Matias; Faria, 2017; Oliveira *et al.*, 2022; Rocha *et al.*, 2018; Rocha; Santos; Póvoas, 2018; Santos; Rocha; Póvoas, 2019).

Segundo Garrido (2020), este método permite analisar a extensão dos danos de maneira minuciosa e restringir a recuperação da estrutura apenas onde é estritamente necessário, gerando menos resíduos e preservando a originalidade, fatores que contribuem significativamente para a sustentabilidade.

É um método de avaliação que tem desempenhado papel crucial nas intervenções destinadas à reabilitação, restauração e preservação de edifícios históricos no Brasil e no exterior. Empresas especializadas em inspeção de fachadas como a DarkWave Thermo utilizam essa técnica para analisar revestimentos argamassados e cerâmicos principalmente para diagnósticos e laudos técnicos que respaldam processos judiciais em edifícios de Milão (Flir, 2024b).

Empresas especializadas em serviços de inspeção de danos como a Seratec France têm sido contratadas por seguradoras para elaboração de laudos técnicos antes de cobrir o custo de conserto ou reconstrução de uma propriedade, existindo casos em que o imóvel foi danificado por infiltração e as seguradoras precisam ter ciência da extensão certa do dano (Flir, 2024a).

Trata-se de um método de ensaio que pode ser associado aos veículos aéreos não tripulados (VANT) ou drones, possibilitando o acesso a locais com dificuldade de visibilidade, capacidade de avaliar a gravidade e a extensão do dano, bem como prever sua possível evolução (Tondelo; Barth, 2019). Por se tratar de um método que não necessita contato físico, possibilita a realização de ensaios e inspeções com alto grau de segurança pessoal e dos ativos, conforme NBR 16969 (ABNT, 2021a, p. vi).

A utilização da termografia infravermelha para identificação de descolamento cerâmico e infiltração viabiliza a inspeção e a avaliação do estado de conservação das construções de forma econômica e eficiente, sem a subjetividade e a lentidão dos métodos tradicionais como o alpinismo de fachada (Lorenzi *et al.*, 2016; Garrido *et al.*, 2020; Garrido *et al.*, 2022; Ballesteros; Lordsleem, 2021).

Embora a termografia infravermelha tenha se mostrado uma ferramenta promissora para a identificação de manifestações patológicas de forma não destrutiva, ainda é uma técnica que enfrenta limitações devido à variabilidade dos materiais envolvidos neste sistema e à necessidade de adequada ponderação de parâmetros críticos como emissividade e temperatura aparente refletida, fatores que podem induzir a erros na medição de temperatura de acordo com a NBR 16969 (ABNT, 2021a). A inexistência de procedimento normativo para análise de umidade por termografia infravermelha é outro fator limitante.

2.4.6.1. Variáveis da termografia infravermelha

De acordo com Andrade (2020), as principais variáveis associadas a análise por termografia infravermelha podem ser organizadas em variáveis associadas ao equipamento e ao alvo. Em relação ao equipamento destacam-se: resolução térmica da câmera, resolução geométrica IFOV (*Instantaneous Field of View*), foco e ângulo de visão relacionado a lente da câmera. Em relação ao alvo destacam-se: emissividade, temperatura aparente refletida e distância.

Ainda de acordo com Andrade (2020), a resolução geométrica (FOV – *Field of View*) “corresponde ao tamanho do detector projetado através das lentes ao alvo e é medido pela quantidade de pixels”, enquanto o IFOV é expresso em mrad (miliradianos) e “define o menor objeto que se pode ser representado na imagem do visualizador segundo a distância de medição do sensor até o alvo”. Sendo assim, quanto menor o IFOV e maior a resolução, melhor será a precisão do estudo (Pavon, 2017; Andrade, 2020).

De acordo com um levantamento realizado por Pavon (2017), o IFOV dos equipamentos comumente utilizados variam de 0,6 a 3,7 mrad e as resoluções de 160x120 a 640x480 pixels.

2.4.6.1.1. Emissividade

A NBR 16969 (ABNT, 2021a, p. 11) define emissividade como uma propriedade que representa a eficiência de uma superfície emitir radiação térmica, variando de acordo com alguns fatores: material, rugosidade do material, temperatura, geometria, ângulo e comprimento de onda da medição. Superfícies polidas geralmente tem menor emissividade que superfícies rugosas. Quanto menor a emissividade da superfície do objeto, mais difícil é a medição de temperatura por meio de termografia.

A obtenção da emissividade é padronizada de acordo com a NBR 16969 (ABNT, 2021a) por meio do método da fita com emissividade conhecida, método detalhado no apêndice dessa dissertação.

2.4.6.1.2. Temperatura aparente refletida

A temperatura aparente refletida “é proveniente de outros objetos ao redor do objeto sob análise, que, refletida por este, atinge a câmera termográfica. Dessa forma, ela se soma à radiação proveniente do objeto sob análise, podendo gerar erro na

medição de temperatura, caso não seja compensada corretamente” NBR 16969 (ABNT, 2021a, p. 14).

A obtenção da temperatura aparente refletida deve ser medida no local de análise e no momento da captura dos termogramas, por meio do método prático denominado de método refletor, também detalhado no apêndice dessa dissertação.

2.4.6.1.3. Distância

A distância entre a câmera termográfica e o alvo varia conforme a dimensão dos protótipos ou das paredes, de forma que essa informação deve ser mantida constante entre diferentes termogramas, registrada e inserida no software de análise, quando aplicável.

2.4.6.1.4. Temperatura ambiente e umidade relativa do ar

A aferição da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar por meio de um termo-higrômetro é essencial para a correta interpretação dos resultados obtidos por termografia infravermelha. Esses parâmetros influenciam diretamente na compensação atmosférica realizada pela câmera termográfica, uma vez que parte da radiação emitida pelo objeto pode ser atenuada pela presença de vapor d'água na atmosfera (Andrade, 2020).

Além disso, a temperatura do ar existente entre a câmera e o objeto analisado afeta a quantidade de radiação emitida pelo próprio meio atmosférico, interferindo na medição da temperatura aparente. Portanto, a coleta precisa desses dados ambientais é imprescindível para minimizar erros na leitura termográfica e assegurar a confiabilidade da análise por meio do software (Andrade, 2020).

2.4.6.2. Análise termográfica qualitativa e quantitativa

De acordo com a NBR 16969 (ABNT, 2021a), a análise qualitativa é aplicável onde a morfologia da distribuição térmica é o parâmetro preponderante, sendo a abordagem inicial de qualquer trabalho termográfico. Esse critério de análise baseia-se na identificação de áreas mais quentes e mais frias por meio das diferenças de coloração, utilizando a comparação entre uma imagem térmica específica e uma imagem térmica referência.

A termografia quantitativa é aplicável em situações em que o parâmetro temperatura é preponderante. Trata-se de um critério de análise que requer o pós processamento das imagens térmicas em um *software* de análise e que pode ser utilizado para classificar a severidade de uma anomalia.

2.4.6.3. Técnicas de termografia ativa e passiva

A NBR 16969 (ABNT, 2021a) estabelece que a termografia infravermelha ativa requer estímulo térmico adicional por meio de fontes externas, enquanto a passiva considera a medição da radiação infravermelha emitida pelos objetos sob análise, sem a necessidade de estímulos térmicos externos.

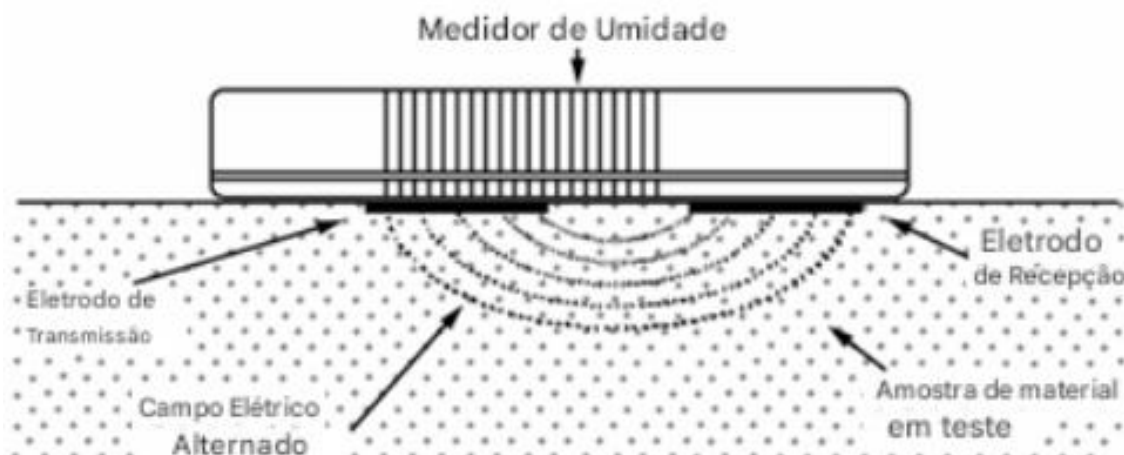
2.4.7. Medidor de umidade

O funcionamento dos medidores de umidade não destrutivos baseia-se na variação das propriedades elétricas dos materiais em função do seu teor de umidade. Conforme estabelecido na ASTM International por meio da norma ASTM F2659-23, a impedância elétrica do material é diretamente influenciada pela sua condição de umidade.

De acordo com esse princípio, o equipamento gera um campo elétrico alternado que penetra na superfície do material ensaiado. A interação desse campo com o substrato induz a circulação de uma pequena corrente elétrica, cuja intensidade é inversamente proporcional à impedância elétrica do material. Como a presença de água reduz a impedância, materiais com maior teor de umidade permitem maior fluxo de corrente. O equipamento, então, mede a amplitude dessa corrente e a converte em uma leitura indicativa do teor de umidade, normalmente apresentada em escala relativa ou percentual (ASTM F2659-23).

Os dispositivos que operam com esse princípio podem ser classificados como medidores por impedância, capacitância ou variação de campo elétrico, sendo todos caracterizados pela medição indireta e não destrutiva da umidade, conforme Figura 16. Ressalta-se que os valores obtidos não correspondem, necessariamente, ao teor absoluto de umidade, mas sim a valores comparativos, úteis para identificar variações espaciais e regiões com diferentes concentrações de umidade (ASTM F2659-23).

Figura 16 – Esquema de funcionamento do medidor de umidade.

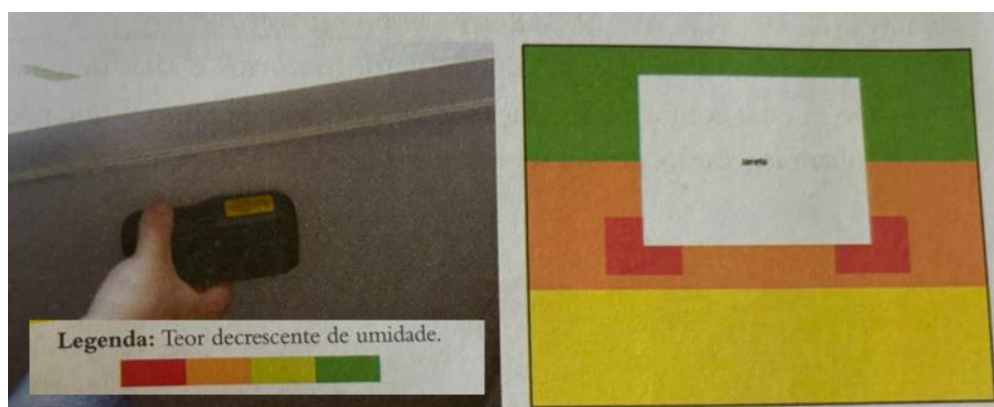


Fonte: Traduzido da ASTM F2659-23.

Embora a norma americana não se aplique a revestimentos cerâmicos, o documento indica recomendações quanto ao procedimento de medição para pisos de concreto, recomendando a realização de múltiplas leituras em cada ponto de ensaio, tipicamente entre 3 e 5 medições em uma área aproximada de 929 cm²,

De acordo com Grossi (2021), a profundidade pode variar de 2 a 5 cm aproximadamente. O medidor utilizado na Figura 17 por exemplo (Flir MR160) apresenta profundidade de aferição por contato de 19 milímetros (Flir, 2025b).

Figura 17 – Medição de umidade superficial de parede (esquerda) e respectivo mapeamento de umidade superficial de face interna de parede (direita).



Fonte: Grossi (2021, p. 115).

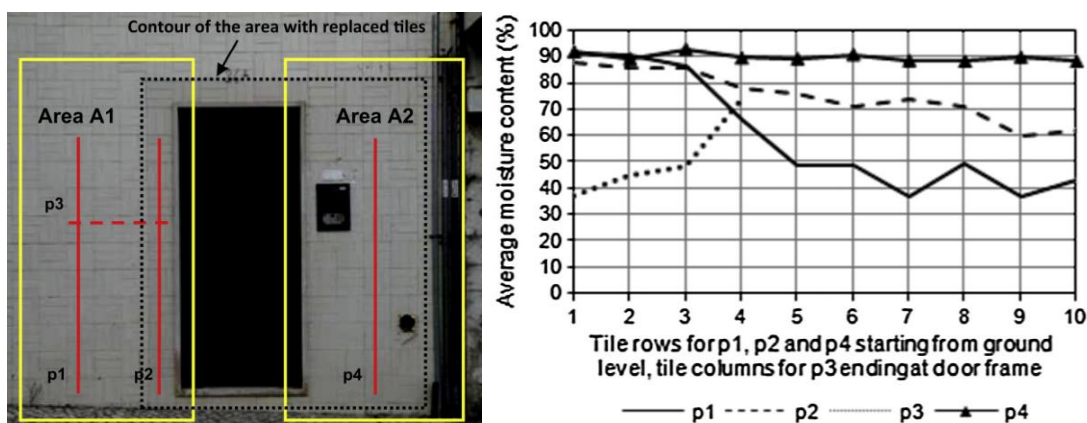
Embora a termografia infravermelha seja eficaz na identificação de áreas com potencial acúmulo de umidade, ela não fornece informações quantitativas sobre o nível de saturação ou o grau de deterioração da região analisada. Assim, entende-se que a utilização do medidor de umidade em conjunto com outras técnicas, como a termografia ou ensaios complementares, permite uma avaliação mais completa e

precisa, conforme relatado por Rocha, Santos e Póvoas (2018) e corroborado por Edis, Flores-Colen e De Brito (2014).

No estudo realizado por Edis, Flores-Colen e De Brito (2014) em um edifício em Portugal, avaliou-se a aplicabilidade da termografia infravermelha na detecção de umidade em fachadas revestidas com azulejos cerâmicos esmaltados brancos. A inspeção foi conduzida com uma câmera FLIR ThermaCAM B2 e as leituras de umidade superficial obtidas por meio do medidor por impedância Tramex Survey Encounter (Figura 18). Observou-se que, durante o dia, as áreas secas apresentavam temperaturas superficiais superiores às úmidas (Figura 19), enquanto à noite esse comportamento se invertia, com as áreas úmidas mantendo temperaturas mais elevadas, especialmente no início da noite, quando o diferencial térmico entre zonas secas e úmidas era mais pronunciado.

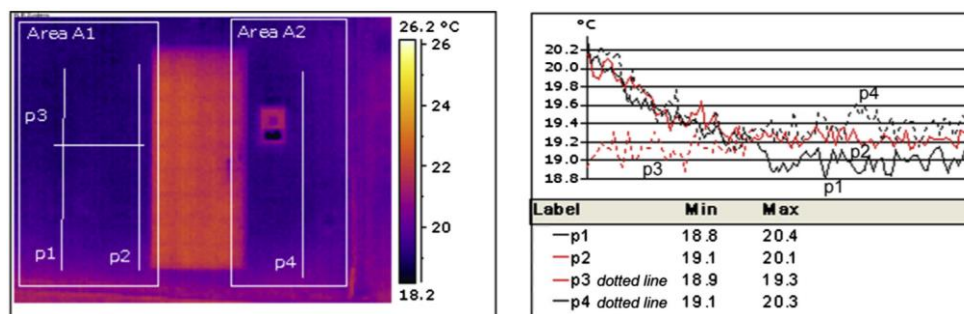
As medições evidenciaram maior teor de umidade nos azulejos próximos ao solo e em áreas adjacentes à moldura de portas, corroborando os padrões térmicos observados nos termogramas. O estudo também destacou que medições elétricas de umidade podem ser imprecisas em zonas com descolamento ou presença de sais/metals higroscópicos, mas o uso comparativo entre os instrumentos reforça a confiabilidade da termografia passiva na identificação de anomalias relacionadas à umidade (Edis; Flores-Colen; De Brito, 2014) .

Figura 18 – Localização da parede analisada *in loco* (a) e medição de umidade nas áreas A1 e A2, nas regiões p1, p2, p3 e p4 (b)



Fonte: Edis, Flores-Colen e De Brito (2014, p. 193 e 194).

Figura 19 – Termograma (a) e perfil de temperatura das áreas A1 e A2 no período da manhã (b)



Fonte: Edis, Flores-Colen e De Brito (2014, p. 194).

2.5. INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO E DO REVESTIMENTO

Oliveira *et al.* (2022) elaboraram quatro protótipos com diferentes revestimentos, sendo revestimento argamassado (P01), pintura com tinta PVA branca (P02), revestimento tipo grés (P03) e porcelanato (P04), conforme Figura 20, todos executados sobre o mesmo substrato de alvenaria de bloco cerâmico. Os autores verificaram que o tipo de revestimento influencia significativamente a detecção de umidade ascensional por termografia infravermelha a partir da subtração entre as temperaturas médias das áreas com umidade na base inferior e sem na superior.

A câmera utilizada no estudo em questão foi a Flir3, cuja resolução é de 60x60 pixels. Os autores indicaram que o protótipo com revestimento argamassado, devido à sua porosidade, cor escura, menor espessura e ausência de tratamentos superficiais, apresentou maior absorção e passagem de calor, resultando em valores de variação de temperatura (ΔT) mais elevados ao longo do dia. Em contraste, revestimentos mais claros e lisos, como pintura, grés e porcelanato, mostraram menor absorção de calor e, conseqüentemente, valores de ΔT reduzidos, dificultando a detecção da umidade.

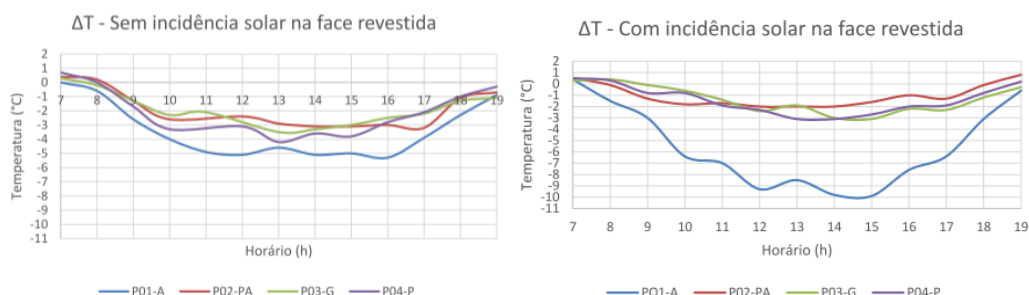
Figura 20 – Imagem digital dos protótipos argamassado (a), com pintura (b), revestimento grés (c) e porcelanato (d) em ambiente com incidência solar (esquerda) e sem incidência solar (direita).



Fonte: Oliveira *et al.* (2022).

Ainda de acordo com os autores, foi verificado que em ambientes sem incidência solar, as diferenças de temperatura entre os revestimentos foram menos acentuadas, sendo atribuídas principalmente à espessura do material (Figura 21).

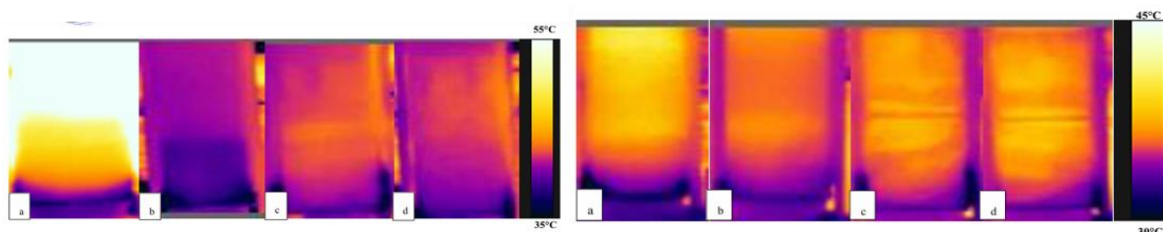
Figura 21 - Comportamento do ΔT nos acabamentos argamassado (P01), com pintura (P02), grés (P03) e porcelanato (P04), sem e com incidência solar



Fonte: Oliveira *et al.* (2022).

A termografia foi eficaz na detecção de umidade em todos os revestimentos analisados, mas o fenômeno foi mais facilmente identificado no revestimento argamassado (Figura 22). Assim, os autores concluíram que a cor e a espessura do revestimento afetam diretamente a detecção da umidade, sendo revestimentos mais claros e espessos menos sensíveis à identificação do problema.

Figura 22 – Termogramas do protótipo argamassado (a), com pintura (b), revestimento grés (c) e porcelanato (d) em ambiente com incidência solar (esquerda) e sem incidência solar (direita)



Fonte: Oliveira *et al.* (2022).

Lourenço, Matias e Faria (2017) elaboraram quatro painéis cerâmicos, sendo dois claros e dois escuros, um aderido ao isolamento térmico sob o sistema de revestimento (C1), e o outro aplicado sobre uma solução tradicional de alvenaria de tijolos com regularização cimentícia (C2), conforme Figura 23. Os autores identificaram que a umidade pode ser identificada em sistemas de revestimento de porcelanato quando submetidos a infiltrações por trás das placas, utilizando feltros previamente posicionados para simular o fenômeno (Figura 24).

Figura 23 – Painéis elaborados pelos autores, sendo C1 à esquerda (a) e C2 à direita (b)



Fonte: Lourenço, Matias e Faria (2017, p. 421).

Figura 24 – Simulação da anomalia do descolamento (a) e do feltro para absorção de água por trás do revestimento cerâmico (b)

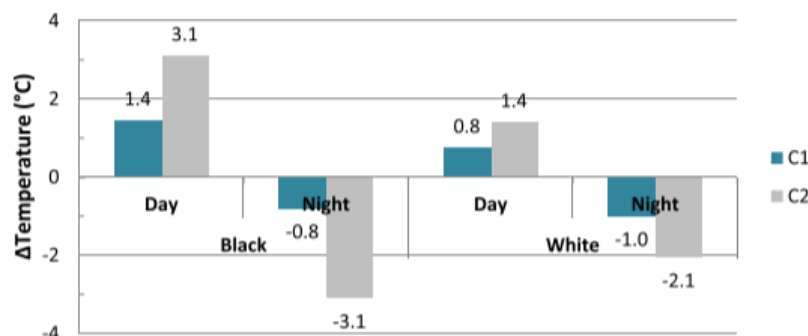


Fonte: Lourenço, Matias e Faria (2017, p. 421).

A análise foi realizada com uma câmera termográfica FLIR P640, que possui resolução de 640x480 pixels e IFOV de 0,65 mrad, proporcionando alta precisão na detecção dos padrões térmicos associados à umidade e ao descolamento conhecido. O estudo demonstrou que a termografia infravermelha é eficaz na identificação de umidade em sistemas de revestimento com porcelanato instalados em áreas externas, o que indica a viabilidade da técnica também para outros tipos de revestimentos cerâmicos na mesma condição de exposição.

Quanto ao tipo de substrato, verificou-se que a tipologia influencia muito a detecção das anomalias, sendo menor o diferencial térmico em sistemas com suporte isolante. Observou-se ainda que a cor da superfície influencia significativamente na detecção de anomalias térmicas: superfícies de cor mais escura, por absorverem mais radiação, apresentaram maiores temperaturas e maiores diferenciais térmicos (Figura 25).

Figura 25 - Diferencial térmico máximo e mínimo entre a área com anomalia e sem anomalia nos protótipos C1 e C2



Fonte: Lourenço, Matias e Faria (2017, p. 421).

Guolo *et al.* (2023) realizaram o processamento de imagens térmicas para avaliar o comportamento de diferentes combinações de revestimentos argamassados em tijolos maciços frente à umidade ascendente (Tabela 5), destacando um rápido aumento no nível de água nas primeiras 24 horas. Os resultados indicaram que o nível de umidade variou conforme a composição dos modelos. A Figura 26 apresenta o nível de umidade ascendente, considerando a temperatura da superfície (T_s) normalizada pela temperatura seca da amostra (T_d). Verificou-se que o *mock-up* M8 (protótipo M8) com argamassa de cal tradicional mostra um nível significativamente mais alto de umidade ascendente do que os modelos feitos com argamassa pré-misturada, expondo que a argamassa e o gesso tradicionais possuem propriedades higroscópicas superiores, que facilitam a ascensão da umidade.

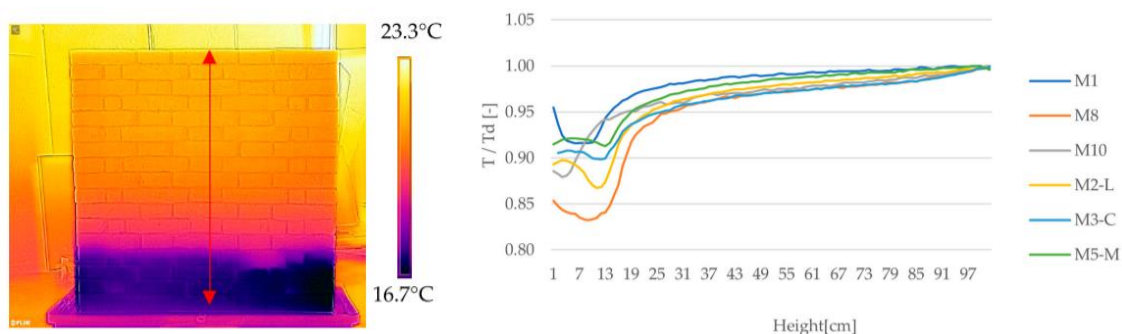
Destaca-se que o estudo em questão utilizou três câmeras termográficas com resoluções de 1024×768 , 640×480 e 320×240 pixels. Observou-se que a câmera de menor resolução registrou temperaturas mais altas em comparação às demais, comportamento atribuído à sua menor sensibilidade térmica e capacidade reduzida de capturar detalhes térmicos precisos (Figura 27).

Tabela 5 – Composição dos *mock-ups* utilizados no estudo realizado por Guolo *et al.* (2023)

Tipo de Mock-Up	Composição
M1	Tijolo novo (para restauração) + argamassa pré-misturada
M2-L	Tijolo novo (para restauração) + argamassa pré-misturada + gesso de cal
M3-C	Tijolo novo (para restauração) + argamassa pré-misturada + gesso de Coccopesto
M5-M	Tijolo novo (para restauração) + argamassa pré-misturada + gesso de Marmorino
M8	Tijolo novo (para restauração) + argamassa de cal
M10	Tijolo histórico + argamassa de cal

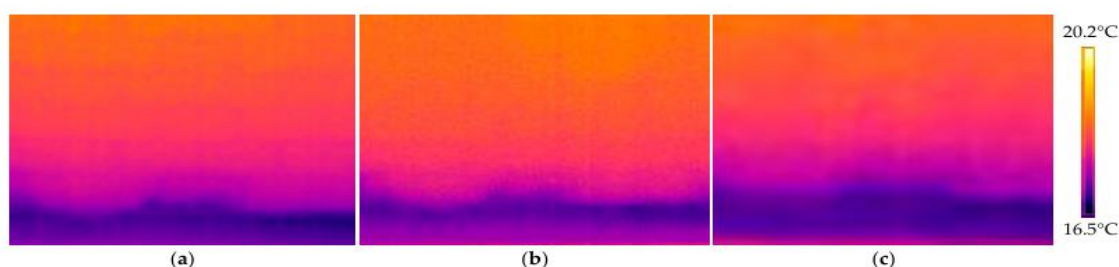
Fonte: Traduzido de Guolo *et al.* (2023).

Figura 26 - Umidade ascendente em um modelo experimental (mock-up) após 24 horas



Fonte: Guolo *et al.* (2023).

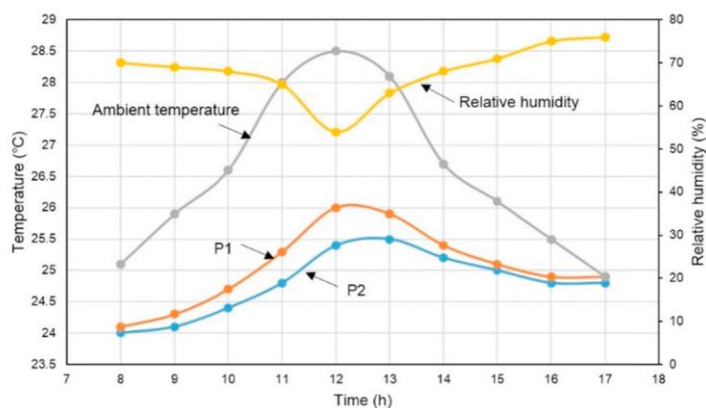
Figura 27 – Termogramas capturados pelas câmeras FLIR T1020 de 1024x768 pixels (a), FLIR SC660 Western de 640x480 pixels (b) e FLIR B400 Western de 320x240 pixels (c).



Fonte: Guolo *et al.* (2023).

O estudo de caso realizado por Rocha, Santos e Póvoas (2018) teve como objetivo avaliar a aplicabilidade da termografia infravermelha na detecção de umidade por capilaridade em um imóvel localizado em Olinda - PE. A inspeção ocorreu em um dia chuvoso. Foi utilizada a câmera termográfica FLIR E-60 de resolução 320 x 240 pixels. A análise quantitativa se deu por meio da fórmula $\Delta T = P2 - P1$, onde P1 corresponde a área seca e P2 a área afetada pela água. As maiores temperaturas foram obtidas ao meio-dia, no período mais quente do dia, conforme Figura 28.

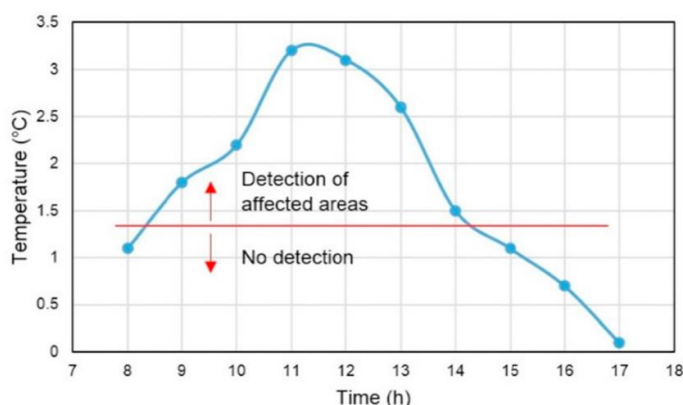
Figura 28 - Temperatura da área P1 e P2, temperatura ambiente e umidade relativa do ar.



Fonte: Rocha, Santos e Póvoas (2018).

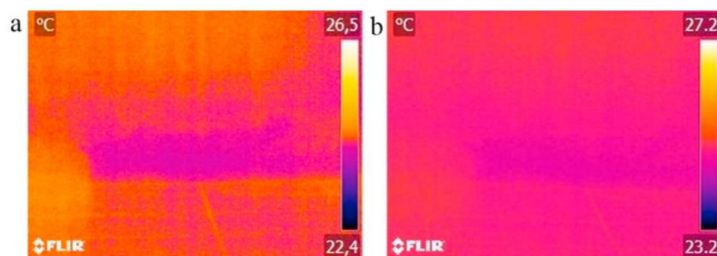
Verificou-se que a eficiência da técnica está relacionada ao contraste térmico entre a superfície inspecionada e a temperatura ambiente. De acordo com os autores, os melhores resultados foram observados em horários com maior diferença de temperatura, das 9 h às 14 h (Figura 29). A partir das 15 h e às 8 h os contrastes térmicos se mostraram reduzidos, dificultando a identificação da anomalia (Figura 30).

Figura 29 - Contraste térmico entre a temperatura da superfície e a temperatura ambiente na detecção da anomalia



Fonte: Rocha, Santos e Póvoas (2018).

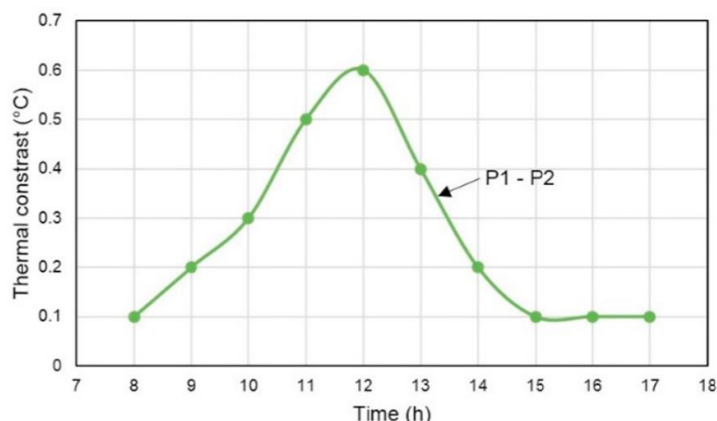
Figura 30 – Termograma capturado ao meio-dia (a) e às 17h (b)



Fonte: Rocha, Santos e Póvoas (2018).

Os autores explicam que as áreas úmidas apresentaram temperaturas superficiais mais baixas em comparação às secas, devido à maior inércia térmica da água, que retarda o aquecimento e reduz a emissão de radiação infravermelha (Rocha; Santos; Póvoas, 2018).

Apesar dos autores indicarem que a literatura sugere contrastes superiores a 1 °C como ideais para a detecção de manifestações patológicas, o estudo demonstrou que variações a partir de 0,2 °C já são capazes de indicar anomalias (Figura 31), especialmente em paredes internas, nas quais o principal agente gerador de gradiente térmico é a temperatura do ambiente.

Figura 31 - $\Delta T = P2 - P1$ durante o dia

Fonte: Rocha, Santos e Póvoas (2018).

Por fim, os autores destacam que a termografia infravermelha não permite mensurar com precisão o nível de umidade nem o grau de degradação do material, sendo recomendada a utilização complementar de instrumentos não destrutivos, como higrômetros (Rocha; Santos; Póvoas, 2018), expondo a importância de associar métodos não destrutivos para uma análise mais completa do fenômeno avaliado.

CAPÍTULO 3 – ESTUDO EXPERIMENTAL

O estudo experimental em questão foi planejado com o objetivo de avaliar a influência do substrato e do revestimento na detecção de umidade ascendente por dois métodos não destrutivos em protótipos de alvenaria construídos em laboratório. A metodologia foi organizada em cinco etapas principais, conforme indicado no esquema da Figura 32.

A primeira etapa consistiu na construção dos protótipos com blocos cerâmicos e blocos de concreto. Na segunda etapa, foram realizados ensaios laboratoriais para caracterização dos materiais e compreensão do fenômeno da umidade ascendente. A terceira etapa contemplou a elaboração do procedimento de avaliação da umidade por termografia infravermelha e medidor de umidade, sendo a termografia realizada por meio da câmera termográfica Flir C5 e a umidade pelo Flir MR160.

A quarta etapa consistiu na avaliação das temperaturas e umidades obtidas para cada variável (bloco de concreto, bloco cerâmico, cerâmica semi porosa de 6 % a 10% de absorção, cor clara e escura, e porcelanato com até 0,5% de absorção, cor clara e escura). A quinta e última etapa corresponde a análise dos resultados por meio

de análise qualitativa, quantitativa e estatística. Todas as etapas serão detalhadas na sequência.

Figura 32 – Etapas da metodologia do trabalho



Fonte: Autor.

3.1. CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Foram construídos quatro protótipos, sendo eles dois prismas de bloco cerâmico e dois prismas de bloco de concreto. Cada prisma contém dois blocos de dimensão 14 cm $\times$ 19 cm $\times$ 29 cm (largura $\times$ altura $\times$ comprimento) separados por 1 cm de argamassa de assentamento entre eles.

A seleção dos blocos cerâmicos de vedação e dos blocos de concreto estrutural adotada neste estudo buscou refletir a representatividade de mercado consolidada da construção civil brasileira. Conforme destaca Corrêa (2012), a alvenaria é um sistema amplamente disseminado em todo o país, sendo as unidades cerâmicas e de concreto os tipos predominantes na execução de edifícios residenciais e comerciais. Além disso, o uso desses materiais é suportado por uma infraestrutura industrial e normativa bem consolidada, com fabricantes presentes na maioria dos estados brasileiros.

O uso do bloco cerâmico como elemento de vedação é tecnicamente justificado, sobretudo, por seu menor peso próprio em comparação ao bloco de concreto, contribuindo para a redução das cargas permanentes atuantes sobre vigas, pilares e fundações em estruturas de concreto armado — critério amplamente adotado em edificações de múltiplos pavimentos (Caldas *et al.*, 2021).

Por outro lado, o bloco de concreto estrutural apresenta elevada capacidade resistente e maior precisão dimensional, justificando sua aplicação em sistemas

estruturais nos quais a segurança e a confiabilidade mecânica são requisitos fundamentais (Caldas *et al.*, 2021). Nesse contexto, a escolha dos dois tipos de blocos reflete tanto a lógica de desempenho estrutural quanto a realidade de mercado, sendo ambos amplamente empregados e validados em sistemas construtivos usuais e em programas de qualidade do setor da construção civil e programas habitacionais.

A construção dos prismas se iniciou com o corte dos retângulos laterais de madeira de dimensão 18 cm x 39 cm e o corte das barras roscadas de 6 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento, cujo objetivo era contribuir com a fixação dos blocos e facilitar o manuseio ao possibilitar segurá-los pelas extremidades das barras.

Antes de posicionar o primeiro bloco de cada prisma, foram coladas placas de poliestireno expandido de 1 cm de espessura nas faces laterais com o objetivo de evitar perdas de calor e absorver solicitações devido as movimentações dos prismas. Na sequência, foi realizado o assentamento do segundo bloco de cada prisma.

O traço utilizado para o assentamento dos blocos foi 1:2:8 (cimento CP-II-F-32, cal hidratada CH-III e areia média), conforme recomendado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2016). A Figura 33 apresenta os quatro prismas em cima da bancada do Laboratório de Materiais de Construção e Estruturas da PUC Campinas antes da aplicação das camadas de revestimento.

Figura 33 – Registro fotográfico dos quatro prismas antes da aplicação das camadas de revestimento.

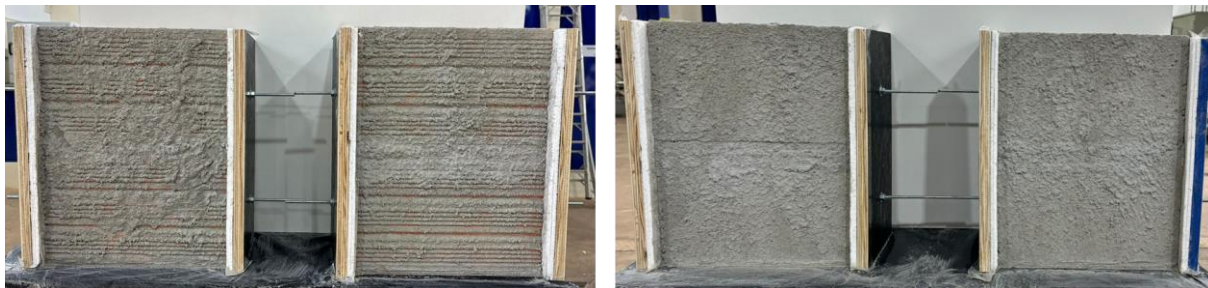


Fonte: Autor.

Na sequência, os protótipos foram revestidos com chapisco de traço em volume 1:3 (cimento:areia), conforme Figura 34, e massa única de traço 1:2:8 (cimento CP-II-

F-32, cal hidratada CH-III e areia média), conforme Figura 35. Ambos os traços foram adotados conforme recomendação da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2016).

Figura 34 - Registro fotográfico dos quatro prismas com chapisco, sendo os dois à esquerda de bloco cerâmico e os dois à direita de bloco de concreto.



Fonte: Autor.

Figura 35 - Registro fotográfico dos quatro prismas com massa única, sendo os dois à esquerda de bloco cerâmico e os dois à direita de bloco de concreto.



Fonte: Autor.

Foram respeitados os tempos de cura estabelecidos na NBR 7200 (ABNT, 1998) de três dias de idade do chapisco para aplicação da massa única e mais de 21 dias de idade da execução da camada única para a realização dos ensaios subsequentes.

A espessura do revestimento argamassado foi definida em 2 cm com base nas exigências da NBR 13749 (ABNT, 2013) de espessura de até 2 cm para revestimento argamassado de parede interna, conforme indicado na Tabela 6 apresentada na sequência. As extremidades das laterais do prisma foram posicionadas a 2 cm do chapisco, de modo que o acabamento do revestimento argamassado alinhado com esses materiais proporcionou espessura constante em todas as regiões do prisma, conforme pode ser observado na Figura 36 e na Figura 37 a seguir.

Tabela 6 – Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos pela NBR 13749.

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

Fonte: ABNT (2013).

Figura 36 – Registro fotográfico da espessura do revestimento argamassado de 2 cm no centro do prisma de bloco cerâmico.



Fonte: Autor.

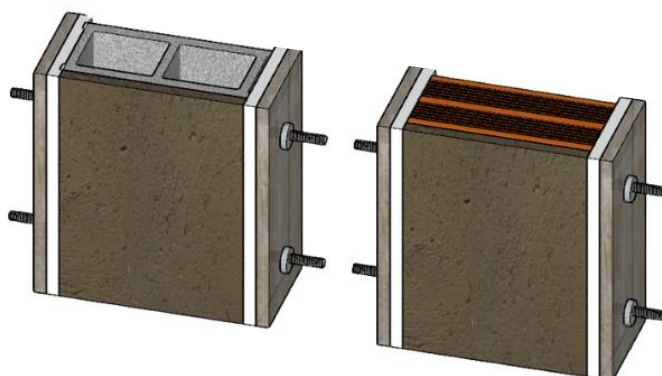
Figura 37 - Registro fotográfico da espessura do revestimento argamassado de 2 cm no prisma de bloco cerâmico à esquerda e de bloco de concreto à direita.



Fonte: Autor.

Inicialmente, foi conduzido um ensaio de simulação de capilaridade para a análise da influência do substrato na umidade ascendente. Nessa etapa os protótipos apresentavam revestimento argamassado em um lado e bloco exposto do outro, conforme Figura 38. Isso foi feito para que fosse possível compreender melhor o fenômeno.

Figura 38 – Protótipos com revestimento argamassado que foram submetidos a primeira simulação por capilaridade

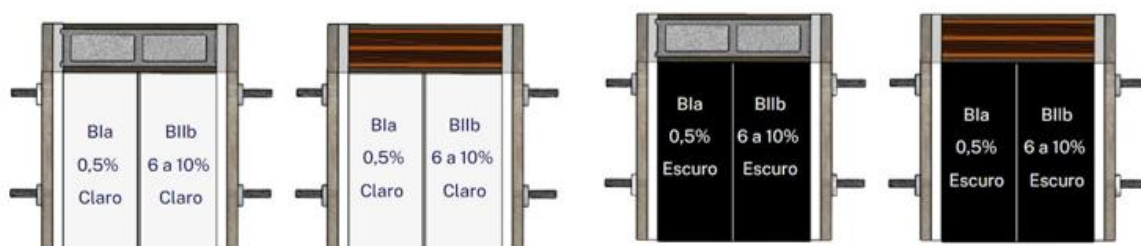


Fonte: Autor.

Antes de ser conduzido o ensaio de simulação de capilaridade para a análise da influência do acabamento, foi preciso complementar o protótipo. Nessa etapa a face posterior da parede recebeu revestimento argamassado e a face frontal recebeu o assentamento dos revestimentos cerâmicos.

Optou-se por manter em um mesmo protótipo colorações similares e absorções divergentes, conforme Figura 39. A nomenclatura adotada para cada parede foi apresentada na Tabela 7. A síntese das variáveis do estudo foram apresentadas no esquema exposto na Figura 40.

Figura 39 – Protótipos com revestimento cerâmico que serão submetidos ao ensaio de capilaridade



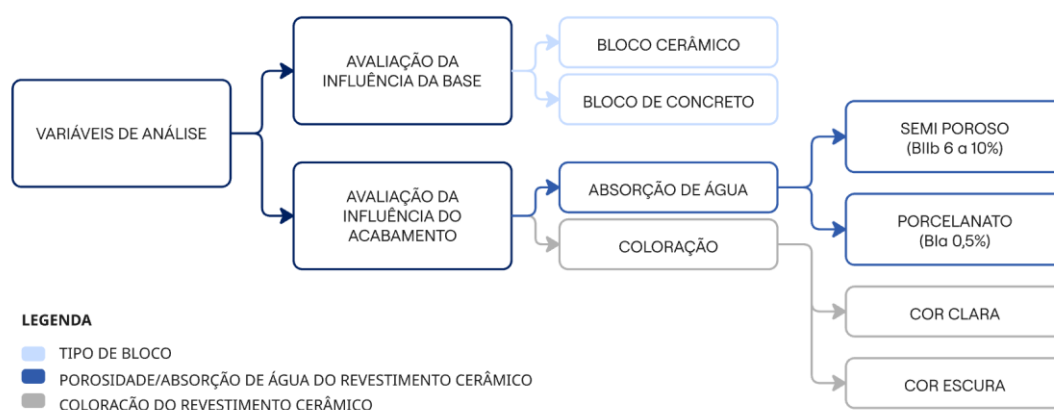
Fonte: Autor.

Tabela 7 – Nomenclatura adotada

Nomenclatura	Parede	Tipo de bloco	Cor do revestimento
P1COCLA	1	Bloco de concreto	Revestimento claro
P2CECLA	2	Bloco cerâmico	Revestimento claro
P3COESC	3	Bloco de concreto	Revestimento escuro
P4CEESC	4	Bloco cerâmico	Revestimento escuro

Fonte: Autor.

Figura 40 – Esquema com indicação das variáveis deste estudo



Fonte: Autor.

Destaca-se que foi realizada uma junta de assentamento de 5 mm entre os revestimentos de absorções divergentes e que o ensaio de simulação do fenômeno da capilaridade com aplicação de revestimento cerâmico será realizado pelo menos duas vezes para viabilizar a análise estatística.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Foram realizados ensaios laboratoriais com o objetivo de caracterizar, avaliar as propriedades físicas e mecânicas da argamassa, dos blocos e do conjunto argamassa e bloco utilizados na construção dos prismas mencionados anteriormente. Por este motivo, concomitantemente a construção dos protótipos, foram moldados 12 corpos de prova da argamassa utilizada na massa única, sendo 6 cilíndricos de 5 cm x 10 cm e 6 prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm. As descrições dos ensaios, normas utilizadas e informações sobre os corpos de prova foram detalhadas na sequência.

3.2.1. Capacidade de absorção de água

A indicação das normas utilizadas e informações sobre os corpos de prova de argamassa, bloco de concreto e bloco cerâmico foram apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Ensaios de absorção de água

Descrição	Norma	Corpos de Prova (CP)		
		Dimensão	Formato	Nº de CP
Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água	NBR 9778	5x10 cm	cilindro	3
Determinação do índice de absorção de água	NBR 12118	14x19x29 cm	Bloco concreto	2
	NBR 15270-2		Bloco cerâmico	2

Fonte: Autor.

Três corpos de prova cilíndricos foram submetidos aos ensaios de absorção de água conforme NBR 9778 (ABNT, 2005a). As amostras foram imersas em água até a saturação e na sequência foram colocadas na água em ebulição por um período de 5 h no banho maria (Figura 41). Então o corpo de prova foi resfriado naturalmente e foi aferida a massa da amostra saturada (m_{sat}). Na sequência, foi aferida a massa da amostra imersa em água após fervura (m_i). Os corpos de prova foram colocados na estufa à temperatura de 105 °C por um período de 72 h para a obtenção da massa seca (m_s).

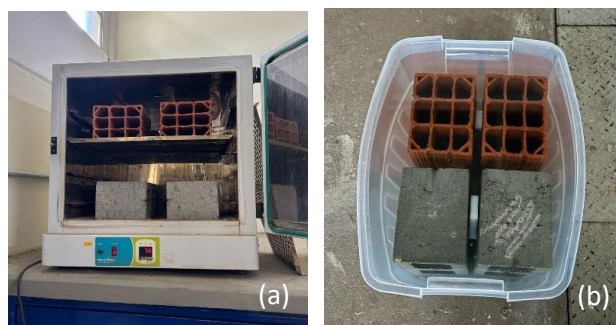
O ensaio de índice de absorção d'água foi realizado conforme NBR 15270-2 (ABNT, 2023b) para o bloco cerâmico e NBR 12118 (ABNT, 2013) para o bloco de concreto. Os blocos foram submetidos à secagem em estufa a 105 °C até a constante de massa para aferição da massa seca em gramas (m_s). Na sequência, os corpos de prova foram submetidos a imersão completa em água a temperatura ambiente durante 24 h (Figura 42). Após esse período, foi pesada a massa úmida (m_u).

Figura 41 – Corpos de prova utilizados nos ensaios de absorção de água dentro do banho maria para imersão em água em ebulição por 5h.



Fonte: Autor.

Figura 42 – Ensaio de índice de absorção d'água dos blocos na estufa (a) e imersos (b)



Fonte: Autor.

3.2.2. Capacidade de absorção de água superficial (ensaio do cachimbo)

De acordo com Silva *et al.* (2021), um método simples e não destrutivo para avaliar a permeabilidade à água é o método do cachimbo disposto na NIT 224 (CSTC, 2002) e *Rilem Test Method* N. II.4 (RILEM, 2015). O ensaio do cachimbo em questão avaliou a absorção de água superficial de corpos de prova cilíndricos de argamassa, dos blocos de concreto, dos blocos cerâmicos e dos protótipos que foram construídos. Os elementos mencionados anteriormente foram submetidos a baixa pressão exercida por uma coluna de água acoplada a tubos de vidro graduados, denominados tubos de Karsten. Os corpos de prova de argamassa e os blocos foram levados a estufa por 72h a 105 °C.

Na sequência, os tubos graduados foram acoplados nas amostras com a utilização de selante a base de poliuretano, conforme Figura 43 e Figura 44. Depois de 20 minutos, os tubos foram preenchidos com água até a graduação de 4 ml. As leituras foram realizadas por meio da verificação do deslocamento da lâmina d'água observada aos 5, 10, 15, 30 e 60 minutos.

Figura 43 – Ensaio do cachimbo nos corpos de prova de argamassa



Fonte: Autor.

Figura 44 – Ensaio do cachimbo nos blocos cerâmico e de concreto



Fonte: Autor.

O mesmo procedimento foi realizado com os prismas de bloco cerâmico e de bloco de concreto, com exceção da etapa de inserção na estufa, conforme Figura 45. Uma vez que o objetivo era avaliar a influência do substrato, optou-se por acoplar o cachimbo na face dos blocos e não na junta de assentamento entre eles.

Figura 45 – Ensaio do cachimbo nos protótipos



Fonte: Autor.

3.2.3. Densidade de massa aparente no estado endurecido

Três corpos de prova cilíndricos de argamassa foram pesados e aferidos com paquímetro para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido conforme NBR 13280 (ABNT, 2005c), de modo que o resultado médio obtido foi de $1.833,85 \text{ kg/m}^3$. Uma vez que a densidade de massa no estado endurecido foi maior que 1.800 kg/m^3 , a argamassa utilizada deve ser classificada como classe DE4 de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2023).

3.2.4. Capacidade de absorção de água por capilaridade em corpos de prova cilíndricos

Três corpos de prova cilíndricos de argamassa foram submetidos ao ensaio de absorção de água por capilaridade conforme NBR 9779 (ABNT, 2012). Os corpos de prova foram submetidos a estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, resfriados e pesados para obtenção da

massa seca (m_s). Na sequência, as amostras foram posicionadas sobre trilhos de modo que o nível d'água permanecesse constante a 5 ± 1 mm acima da face inferior (Figura 46).

As massas saturadas (m_{sat}) foram determinadas com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h. Os corpos de prova foram secos com pano úmido antes de cada pesagem e imediatamente retornados para o recipiente do ensaio. A área da seção transversal considerada nos cálculos foi de $19,6 \text{ cm}^2$. Os resultados dos cálculos da capilaridade foram indicados na Tabela 9.

Figura 46 – Lâmina constante de 5 mm durante o ensaio de absorção por capilaridade de corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autor.

Tabela 9 – Resultados obtidos no ensaio de absorção por capilaridade dos corpos de prova de argamassa cilíndricos

Capilaridade (g/cm ²)	Elemento	CP	Tempo (horas)				
			3	6	24	48	72
	Argamassa CP 5x10 cm	1	2,12	2,53	2,55	2,56	2,57
		2	2,20	2,63	2,65	2,67	2,68
		3	1,90	2,57	2,62	2,63	2,64

Fonte: Autor.

3.2.5. Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade em corpos de prova prismáticos

Três corpos de prova prismáticos foram submetidos ao ensaio de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade conforme NBR 15259 (ABNT,

2005d). Os corpos de prova foram lixados com lixa grossa e limpos com pincel. Foi aferida a massa inicial de cada prisma. Na sequência, eles foram posicionados no recipiente com lâmina d'água constante de 5 mm (Figura 47).

As leituras ocorreram aos 10 minutos e aos 90 minutos. Os corpos de prova foram secos com pano úmido antes de cada pesagem e imediatamente retornados para o recipiente do ensaio. A absorção de água por capilaridade média aos 10 minutos foi $0,64 \text{ g/cm}^2$ e aos 90 minutos de $1,64 \text{ g/cm}^2$.

Figura 47 – Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade

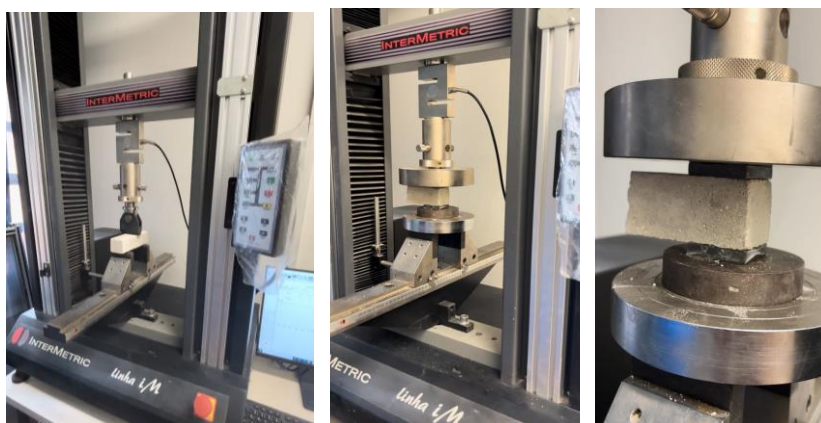


Fonte: Autor.

3.2.6. Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão

O ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão foi realizado conforme NBR 13279 (ABNT, 2005b), por meio da ruptura de três corpos de prova prismáticos de argamassa aos 28 dias. Após a obtenção das resistências à tração, as metades das amostras rompidas dos prismas foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão. A Figura 48 ilustra os corpos de prova durante os ensaios.

Figura 48 – Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão



Fonte: Autor.

Os resultados à tração foram indicados na Tabela 10. De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2023) a argamassa deve ser classificada como R2 ao apresentar resistência média a tração na flexão entre $\leq 1,5$ MPa. Os resultados à compressão foram inseridos na Tabela 11.

Tabela 10 – Resultados dos ensaios de resistência à tração

Resistência à tração na flexão			
CP	Força máxima (N)	Área (mm²)	Tensão (MPa)
P1	327,31	1600	0,77
P2	373,01	1600	0,87
P3	297,17	1600	0,70
MÉDIA			0,78
Desvio Padrão (DP)			0,09

Fonte: Autor.

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão

CP	Força máxima (kN)	Área (mm²)	Tensão (MPa)
P1A	2,929	1600	1,83
P1B	3,146	1600	1,97
P2A	3,26	1600	2,04
P2B	3,052	1600	1,91
P3A	2,812	1600	1,76
P3B	3,53	1600	2,21
MÉDIA			1,95
Desvio Padrão (DP)			0,15

Fonte: Autor.

3.2.7. Ensaio de umidade ascendente

O ensaio foi adaptado da NBR 15259 (ABNT, 2005d), com lâmina de 5 mm $\pm$ 1 mm e organizado em duas etapas: avaliação da influência do substrato (protótipos com revestimento argamassado apenas) e avaliação da influência do revestimento. Na primeira etapa deste ensaio foram utilizados dois dos quatro protótipos, sendo um de bloco de concreto e outro de bloco cerâmico. Na segunda etapa foram utilizados os quatro protótipos, conforme detalhado mais à frente.

Uma vez que o ensaio de avaliação com o revestimento cerâmico seria repetido duas vezes em um período curto, no intervalo de apenas uma semana, optou-se por colocar os quatro protótipos com revestimento na estufa durante cinco dias na temperatura de 60 °C, conforme Figura 49. Os protótipos foram pesados quando

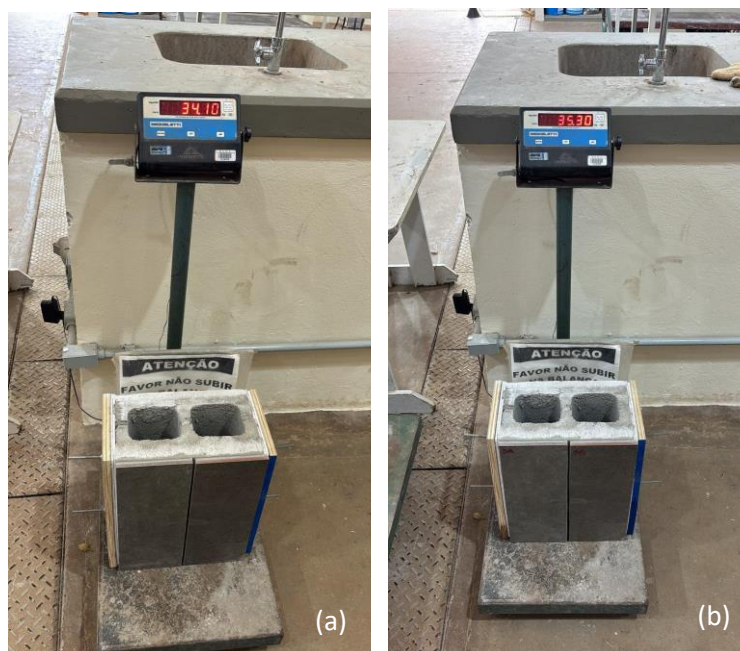
saíam da estufa e depois pesados novamente após a conclusão do ensaio de umidade por ascensão capilar, conforme Figura 50, para que o volume de água absorvido pudesse ser comparado entre uma semana e outra, garantindo que toda a água teria sido evaporada. Os pesos obtidos foram apresentados na Tabela 12.

Figura 49 – Protótipos na estufa a 60°C.



Fonte: Autor.

Figura 50 – Registro fotográficos do protótipo após sair da estufa (a) e após a conclusão do ensaio com lâmina d'água (b).



Fonte: Autor.

Tabela 12 – Peso dos protótipos após estufa e após realização do ensaio.

SEMANA 1	Peso após estufa (kg)	Peso após ensaio (kg)	Diferença (kg água)
PAREDE 1	33,60	34,70	1,10
PAREDE 2	23,70	25,15	1,45
PAREDE 3	34,10	35,30	1,20
PAREDE 4	23,95	25,45	1,50
SEMANA 2	Peso após estufa (kg)	Peso após ensaio (kg)	Diferença (kg água)
PAREDE 1	33,65	34,80	1,15
PAREDE 2	23,65	25,15	1,50
PAREDE 3	34,05	35,25	1,20
PAREDE 4	24,05	25,55	1,50

Fonte: Autor.

Os protótipos foram posicionados no interior do laboratório de conforto térmico, sem climatização, um dia antes do início do ensaio. Durante o ensaio, as portas foram mantidas fechadas e não houve fluxo de pessoas. O mesmo procedimento foi feito com as bandejas de dimensão 36 x 56 x 13 cm (largura x comprimento x altura) e com o balde com água que seria utilizado para obtenção da lâmina de água, de forma que houvesse estabilização da temperatura. Foram utilizados tripés para o posicionamento da câmera termográfica.

Para minimizar interferências térmicas do ambiente e melhorar a precisão da análise, as duas mesas utilizadas no ensaio foram posicionadas dentro de um ambiente delimitado por uma cortina preta, de forma que a cortina foi mantida fechada atrás dos protótipos durante todo o ensaio. Além disso, a mesa onde foram realizadas as capturas dos termogramas foi coberta com lona plástica preta, reduzindo reflexos térmicos provenientes de fontes externas, como iluminação ou equipamentos próximos (Figura 51).

Figura 51 – Registro fotográfico da região do laboratório de conforto onde o ensaio foi conduzido.



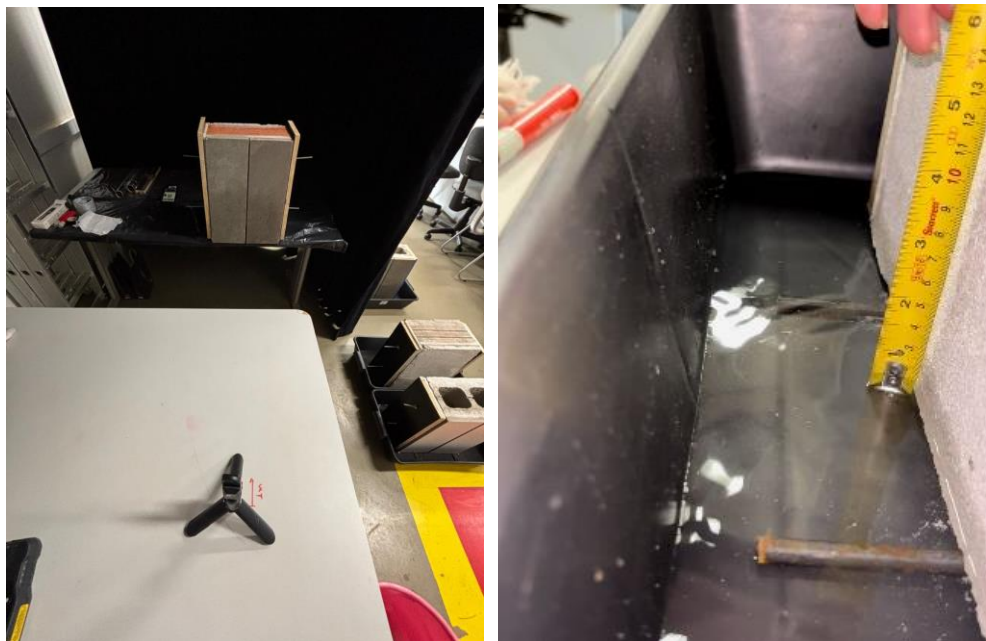
Fonte: Autor.

A distância entre o tripé até a face do protótipo foi de 1 metro. Uma vez que as mesas estavam niveladas, determinou-se que a lente da câmera deveria ficar centralizada com o protótipo, de modo que o tripé foi posicionado a aproximadamente 20 cm de altura da mesa. Os protótipos eram removidos das bandejas e posicionados na mesa próxima da cortina.

Dentro de cada bandeja foram inseridas duas barras metálicas de 1 cm de diâmetro para apoio dos protótipos. O ensaio dos protótipos sem revestimento iniciou no dia 28 de janeiro de 2025 e finalizou no dia 31 de janeiro. O ensaio dos protótipos com o revestimento ocorreu em dois momentos, pois foi repetido duas vezes: de 16 a 19 de setembro e de 29 de setembro a 2 de outubro.

Em todos os ensaios a lâmina d'água acima da face inferior dos prismas foi mantida em $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, de forma que a medição com trena indica 1,5 cm (Figura 52). As leituras por meio de câmera termográfica e medidor de umidade foram realizadas nos intervalos de 10 minutos, 1 h 30, 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h. A altura do perfil de água visível na junta que foi deixada entre os revestimentos foi aferida com auxílio de uma lanterna e trena, conforme será exposto na Tabela 15. O procedimento de avaliação por cada equipamento foi descrito na seção seguinte.

Figura 52 – Posição do tripé a 1 metro e bandeja com lâmina d'água constante de 5 mm.



Fonte: Autor.

Nesses mesmos tempos foram aferidas temperatura ambiente e umidade relativa do ar por meio do termo-higrômetro HT-156 da Instrutherm (Figura 53). As leituras de medição de umidade relativa do ar por meio deste equipamento foram realizadas na mesma posição em que os protótipos eram colocados na mesa.

As condições de ensaio das leituras realizadas no mês de janeiro foram temperatura de $23,5\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$ e umidade de $87,9\% \pm 6\%$. A temperatura ambiente aferida no mês de setembro foi de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ e a umidade de $59\% \pm 4\%$, a tabela apresentada a seguir evidencia quais foram os valores obtidos em cada leitura.

Complementarmente, os dados meteorológicos do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) corroboram a influência da sazonalidade local nas condições de ensaio. Para o período de janeiro de 2025, registrou-se temperatura externa média de $25,4\text{ °C}$ e precipitação acumulada de $83,6\text{ mm}$, o que fundamenta a elevada umidade relativa ($87,9\%$) observada no microclima do laboratório durante o verão (IAC, 2025a).

Em contrapartida, os ensaios de setembro ocorreram sob um cenário de transição sazonal, com temperatura média de 23 °C e redução na pluviosidade ($63,2\text{ mm}$), justificando a queda na umidade interna para 59% , evidenciando o impacto do macroclima regional nas condições de ensaio dos protótipos (IAC, 2025b). A Tabela 13 apresenta a síntese dos valores obtidos.

Figura 53 – Equipamento utilizado para aferir a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.



Fonte: Autor.

Tabela 13 – Medições de temperatura e umidade relativa do ar durante os ensaios.

Ensaio	Mês/Ano	Nº de ensaios	Temperatura média (Termohigrômetro)	Temperatura média (IAC)	Umidade Relativa média
Substrato	jan/25	1	23,5 °C	25,4 °C	87,90%
Revestimento	set/25	2	23,0 °C	23 °C	59%

Fonte: Autor.

Todas as vezes em que os protótipos foram removidos da bandeja de água eles foram secos com um pano úmido antes de serem posicionados na mesa logo a frente para realização das medições de temperatura e umidade superficial. Assim que as leituras eram finalizadas os protótipos retornavam para a sua respectiva bandeja e a altura de lâmina d'água era conferida.

3.3. PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO POR TERMOGRAFIA E MEDIDOR DE UMIDADE

Os equipamentos utilizados nesta etapa foram uma câmera termográfica Flir C5 de resolução 160 x 120 pixels e um medidor de umidade Flir MR160 com imagem térmica de resolução 80 x 60 pixels, de forma que a avaliação por termografia infravermelha foi realizada pelos dois equipamentos e a medição de umidade apenas pelo medidor. As especificações da câmera termográfica estão indicadas na Tabela 14 e do medidor de umidade com imagem térmica na Tabela 15.

Ambos são dispositivos portáteis, de fácil manuseio, que têm ganhado espaço em inspeções devido à sua versatilidade de uso e ao custo relativamente acessível.

Apesar de suas limitações em termos de resolução, esses equipamentos têm demonstrado potencial para auxiliar na identificação e análise de manifestações patológicas, proporcionando informações relevantes para a avaliação inicial de anomalias em edificações.

Tabela 14 – Especificações da câmera térmica utilizada (Flir C5)



Descrição	FLIR C5
Resolução térmica	160 x 120 (19.200 pixels)
Faixa de temperatura	(-) 20 °C a (+) 400 °C
Campo de visão (FOV)	54° H x 42° V
IFOV	6,3 mrad
Faixa espectral	8 to 14 µm
Sensibilidade térmica	<70 mK
Precisão	± 3%

Fonte: Flir, 2025a.

Tabela 15 - Especificações do medidor de umidade com imagem térmica utilizado (Flir MR160)



Descrição	FLIR MR160
Resolução térmica	80 × 60 (4800 pixels)
Faixa de temperatura	Não informado
Campo de visão (FOV)	51° H x 38° V
Faixa espectral	8 to 14 µm
Sensibilidade térmica	<0,15 °C
Precisão	± 5%
Faixa de detecção de umidade sem pinos	Medida relativa de 0 a 100
Profundidade da medição sem pinos	0.75" (19 mm) máx.

Fonte: Flir, 2025b.

Antes de iniciar o ensaio do fenômeno da capilaridade, o medidor de umidade foi configurado para apresentar imagem térmica. Então o procedimento foi o seguinte: remoção do protótipo da bandeja, secagem da base com pano úmido e posicionamento do protótipo na mesa em frente a bandeja, com o centro alinhado com o tripé. Primeiro foram realizadas as capturas dos termogramas pela Flir C5 e pelo Flir MR160. Na sequência, o medidor de umidade foi configurado para leitura de umidade relativa e foi aferida a umidade do protótipo. Após as medições de umidade o protótipo era imediatamente retornado à bandeja. Os procedimentos das medições foram detalhados na sequência.

3.3.1. Avaliação termográfica qualitativa e quantitativa

A emissividade foi determinada em 0,92 utilizando o procedimento da emissividade conhecida estabelecido no Anexo B da NBR 16969 (ABNT, 2021) e a temperatura aparente refletida foi definida em 28 °C conforme procedimento do refletor indicado no Anexo C desta mesma norma. O apêndice deste documento contempla maiores informações a respeito das determinações dos parâmetros mencionados anteriormente.

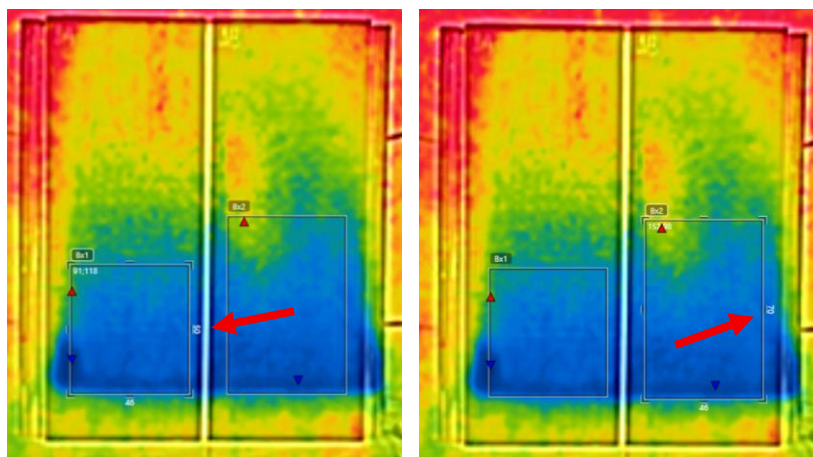
A distância de 1 metro foi previamente determinada como suficiente para garantir o enquadramento completo dos protótipos nas imagens capturadas. A temperatura ambiente e a umidade relativa do ar foram inseridas conforme as medições foram realizadas. Esses parâmetros foram configurados previamente na câmera termográfica antes da obtenção dos termogramas.

Os termogramas realizados no ensaio de termografia infravermelha pela câmera Flir C5 foram pós-processados na extensão .JPG pelo *software* de edição de imagens fornecido pelo próprio fabricante da câmera, denominado *FlirTools*, por meio de análise quantitativa, disponibilizado no apêndice deste documento. Os termogramas provenientes do Flir MR160 não puderam ser pós-processados devido a extensão dos arquivos ser .BMP, o que impossibilitou a extração de informação do termograma pelo *FlirTools*.

A análise qualitativa dos protótipos sem revestimento contemplou a comparação visual dos termogramas capturados pela Flir C5, pelo Flir MR160 e pela câmera digital, de modo que foi avaliada a possibilidade de detecção da manifestação patológica quanto a existência do fenômeno e possibilidade de mapeamento do limite do defeito associado à altura.

Uma vez que após o assentamento do revestimento cerâmico a presença de umidade passou a ser imperceptível pela câmera digital convencional, a análise qualitativa dos protótipos com revestimento contemplou a possibilidade de detecção da manifestação patológica quanto a existência do fenômeno e possibilidade de mapeamento do limite do defeito associado à altura estimada pelos termogramas da Flir C5. A Figura 54 contém indicação de um termograma com delimitação pelo *FlirTools* e destaque para a medida de pixels informada pelo software.

Figura 54 – Captura de tela dos retângulos realizados no *FlirTools* para obtenção dos pixels.



Fonte: Autor.

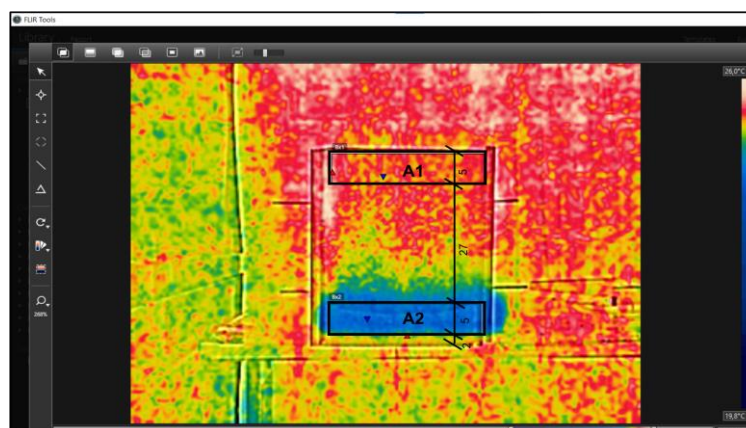
Para a análise quantitativa, observou-se que a menor área seca do protótipo após as 72 h de ensaio era obtida no topo do protótipo de bloco cerâmico. Por este motivo, utilizou-se esta região como referência para aferição das áreas secas e úmidas.

Para a avaliação da influência do substrato foram desenhados dois retângulos de mesma dimensão no *software FlirTools*, conforme Figura 55, sendo um na porção inferior e outro na porção superior, de forma que o software indicava a temperatura média de cada uma das áreas. O cálculo da variação de temperatura (ΔT) se deu por meio da equação apresentada a seguir.

$$\Delta T = T_{A2} - T_{A1}$$

Sendo T_{A1} a temperatura média da área 1 (superior) e T_{A2} a temperatura média da área 2 (inferior), conforme pode ser observado na Figura 55.

Figura 55 – Croqui da área 1 (superior) e da área 2 (inferior).

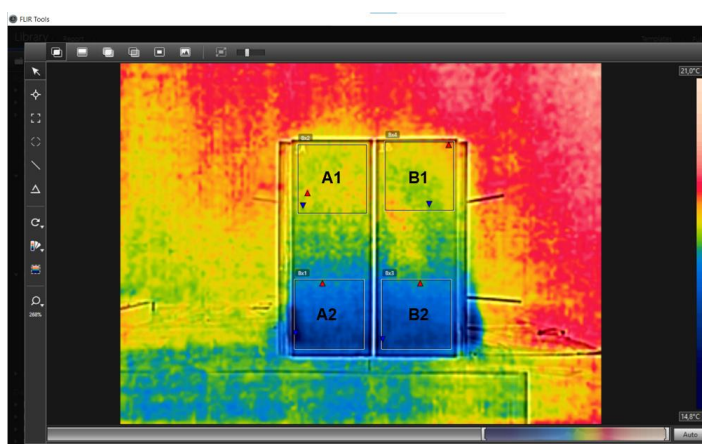


Fonte: Autor.

Para a análise da influência do revestimento cerâmico foram desenhados quatro retângulos de mesma dimensão no software FlirTools, conforme Figura 56, de forma que o software indicava a temperatura média de cada uma das quatro áreas (A1, A2, B1 e B2) para cada parede (P1, P2, P3 e P4). A partir da subtração entre as temperaturas médias dos retângulos foram obtidas as variações de temperatura (ΔT). O cálculo do ΔT se deu por meio da equação apresentada a seguir.

$$\Delta T_A = T_{A2} - T_{A1} \text{ e } \Delta T_B = T_{B2} - T_{B1}$$

Figura 56 - Áreas para obtenção das temperaturas médias por meio do software FlirTools



Fonte: Autor.

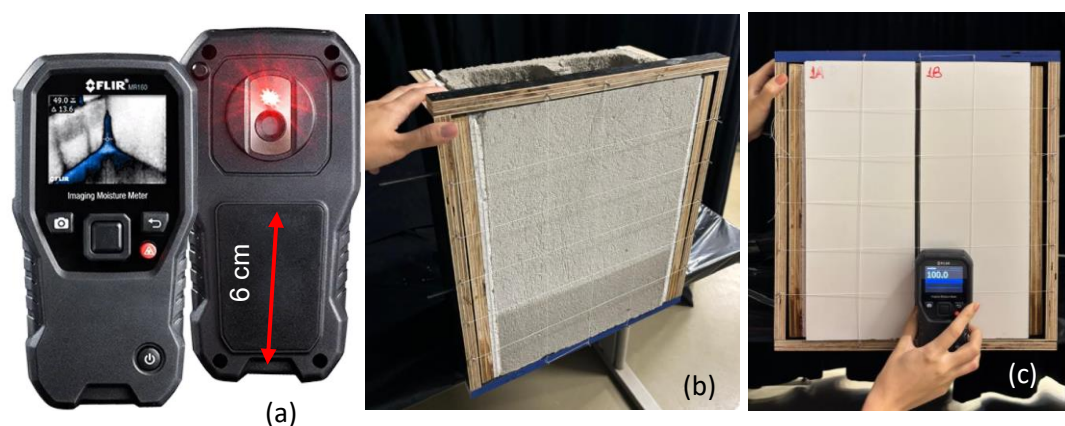
3.3.2. Avaliação da medição de umidade com medidor termo-higrômetro

A umidade superficial dos prismas foi aferida por contato por meio do medidor Flir MR160, equipamento que realiza medições em escala de 0 a 100, sendo necessário aferir uma referência seca para posterior comparação com as superfícies úmidas. As leituras ocorreram nos tempos de 10 min., 1 h 30, 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h.

Foram estabelecidas 24 áreas de medição para cada protótipo, de forma que a divisão foi realizada com base na altura da área de contato do medidor que apresentava dimensões de 4 cm de largura por 6 cm de altura. Adotou-se meio centímetro acima da altura da área de contado do medidor e definiu-se que quatro colunas para cada linha de medição seriam suficientes para mapear o protótipo como um todo. Sendo assim, cada uma das 24 áreas do gabarito apresentou dimensões de 6,5 cm de altura por 7,25 cm de largura.

Foi realizado um gabarito com estrutura de madeira e divisões com barbante para posicionar o medidor sempre no mesmo local de forma que ele não influenciasse na medição por umidade e pudesse ser rapidamente posicionado após a medição pela termografia. A Figura 57 ilustra o gabarito posicionado em frente ao protótipo antes da medição da umidade, tanto sem quanto com o revestimento cerâmico.

Figura 57 – Parte de trás do medidor de umidade onde está a área de contato (a), gabarito realizado para locação dos pontos de medição no protótipo com revestimento argamassado apenas (b) e com revestimento cerâmico (c)

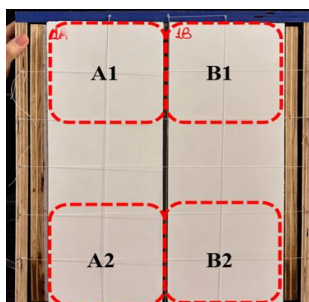


Fonte: Autor.

A análise da medição de umidade se deu por meio da variação da umidade da base em relação ao topo, de forma que a área aferida de temperatura corresponde a área aproximada da medição de umidade. Foi aferida a umidade média das duas linhas de baixo, indicada por área 1 (A2 e B2) e a umidade média das duas linhas de cima, indicada por área 1 (A1 e B1), conforme indicado na Figura 8. A partir da subtração entre as umidades médias dos retângulos foram obtidas as variações de umidade (ΔU) para cada tempo ensaiado. O cálculo do ΔU se deu por meio da equação apresentada a seguir.

$$\Delta U_A = U_{A2} - U_{A1} \text{ e } \Delta U_B = U_{B2} - U_{B1}$$

Figura 58 - Croqui com indicação das áreas de medição de umidade média.



Fonte: Autor.

3.4. VARIÁVEIS DE ANÁLISE

Para avaliação da influência do substrato, foram considerados dois tipos de blocos: cerâmico e de concreto, ambos de dimensão 14 x 19 x 29 cm. Na etapa de avaliação da influência do revestimento cerâmico, tanto os protótipos de bloco cerâmico quanto os protótipos de bloco de concreto foram revestidos. As análises foram segmentadas conforme a absorção de água do revestimento cerâmico aplicado (semi poroso ou porcelanato) e a coloração do material (clara ou escura), conforme especificado na Tabela 16.

As variáveis de estudo foram definidas de modo a permitir a avaliação da influência do substrato e do revestimento cerâmico no comportamento higrotérmico dos protótipos. As variáveis independentes compreenderam: (i) o tipo de bloco, representado por bloco cerâmico e bloco de concreto; (ii) a absorção de água do revestimento cerâmico, avaliada por meio de duas tipologias — cerâmica semi porosa (grupo BIIb, absorção entre 6 e 10 %) e porcelanato (grupo BIa, absorção $\leq 0,5$ %); e (iii) a coloração do revestimento cerâmico, classificada em cor clara e cor escura.

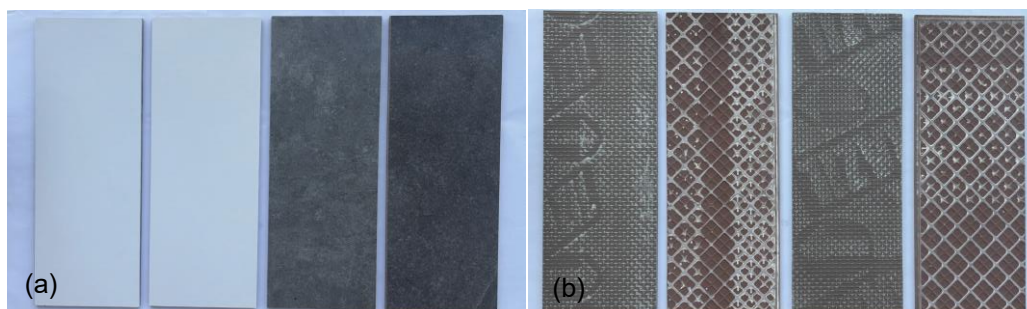
Os revestimentos utilizados são classificados como grupo de absorção, com absorção $\leq 0,5$ % (porcelanato) e grupo de absorção II, com valores entre 6 e 10 % (semi porosa). Definiu-se que todas as peças de revestimento apresentarão acabamento acetinado. As peças foram recortadas nas dimensões 14,5 cm x 39 cm, conforme Figura 59.

Tabela 16 – Especificação dos revestimentos utilizados como acabamento

ID	Revestimento e cor	Especificação	Grupo de absorção	Tipologia	Espessura
1	Porcelanato cor clara	Max Clean Satiny	BIa ($Ev \leq 0,5\%$)	Acetinado	7,4 mm
2	Cerâmico cor clara	Vitral White Satiny Mag	BIIb ($6 < Ev \leq 10\%$)	Acetinado	8,0 mm
3	Porcelanato cor escura	Castelo de Haward	BIa ($Ev \leq 0,5\%$)	Acetinado	7,8 mm
4	Cerâmico cor escura	Ardosia Satiny Mag	BIIb ($6 < Ev \leq 10\%$)	Acetinado	8,0 mm

Fonte: Autor.

Figura 59 – Revestimentos utilizados cortados nas dimensões adequadas, na seguinte ordem: ID1, 2, 3 e 4, respectivamente. Frente (a) e verso (b).



Fonte: Autor.

3.5. ANÁLISE DOS DADOS APURADOS

Realizou-se análise qualitativa por termografia infravermelha, com o objetivo de identificar padrões de distribuição térmica associados à presença e à progressão da umidade nos protótipos. Os termogramas foram analisados visualmente, considerando contrastes térmicos, áreas de anomalia e evolução espacial da frente úmida, permitindo correlacionar os resultados qualitativos da termografia com os dados quantitativos de temperatura e umidade.

A análise quantitativa dos dados foi realizada por meio do software Statistica, com o objetivo de avaliar o comportamento termo-higrométrico dos protótipos, considerando as variáveis quantitativas de temperatura e umidade medidas na base e no topo das paredes, bem como suas respectivas variações (ΔT e ΔU). Antes de realizar a análise estatística de variância foi realizado o teste Shapiro-Wilk, recomendado para amostras pequenas e médias, a fim de verificar a distribuição normal dos dados. Empregou-se análise de variância (ANOVA) para investigar a influência das características dos materiais — tipo de bloco (concreto ou cerâmico), absorção de água do revestimento (porcelanato ou semi-porosa) e cor (clara ou escura) — sobre os dados obtidos.

Optou-se pela utilização dos dados correspondentes à leitura de 24 h, por se tratar de um intervalo usualmente adotado em ensaios de avaliação de umidade, considerado representativo para a estabilização do processo de absorção. Ademais, observou-se que, a partir desse período, o medidor de umidade apresentou leitura máxima (100) nas bases de todos os protótipos, indicando a saturação do material na região analisada.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura desta seção se inicia com os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais que contribuem para as análises, entre eles o ensaio de capacidade de absorção de água e o ensaio do cachimbo. Na sequência, foi realizada a avaliação da influência do substrato considerando os ensaios dos protótipos sem o assentamento do revestimento cerâmico. Na sequência, foi realizada a análise da influência do revestimento cerâmico, discutida a aplicabilidade das técnicas empregadas e realizada uma correlação entre termografia e umidade. Para a avaliação da influência do revestimento, foram apresentadas as análises estatísticas (ANOVA) com identificação da significância.

4.1. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

4.1.1. Capacidade de absorção de água

Os resultados obtidos nos ensaios dos blocos e da argamassa foram apresentados na Tabela 17. Os resultados obtidos foram comparados com as especificações da NBR 15270-1 (ABNT, 2023a) para bloco cerâmico sem função estrutural em parede vazadas na horizontal (8 a 25%) e NBR 6136 (ABNT, 2016) para bloco de concreto classe B ($\leq 10\%$ para bloco individual), de forma que ambos apresentaram índice de absorção dentro do intervalo estabelecido nas normas. A argamassa apresentou maior absorção de água que o bloco cerâmico e o bloco cerâmico apresentou maior absorção de água que o bloco de concreto, conforme era esperado.

Tabela 17 – Resultados dos ensaios de determinação da absorção de água

Material	Absorção média (%)
Argamassa	16,19
Bloco de concreto	5,92
Bloco cerâmico	12,13

Fonte: Autor.

4.1.2. Capacidade de absorção de água superficial (ensaio do cachimbo)

As informações sobre os corpos de prova e os resultados obtidos nesse ensaio foram apresentados na Tabela 18 e no Gráfico 1, respectivamente. Destaca-se que foi necessário completar o Tubo de Karsten do bloco de concreto antes dos 10 minutos, dos corpos de prova de argamassa antes dos 15 minutos, e do bloco

cerâmico antes dos 60 minutos para que fosse possível analisar o volume absorvido acumulado.

Entende-se que a maior absorção de água pela lateral do bloco de concreto se deve a caracterização dos poros desse material. Conforme ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio realizado por Paes *et al.* (2014) em blocos de concreto e blocos cerâmicos, verificou-se que o bloco cerâmico apresenta um volume total de poros aproximadamente três vezes maior do que o bloco de concreto, comportamento compatível com os valores de absorção de água estipulados, porém, o bloco de concreto apresentou maior volume de poros de maior dimensão, com diâmetros entre 5 e 1.000 μm , o que justifica sua taxa de absorção inicial de água por capilaridade. Consequentemente, a absorção no protótipo de bloco de concreto também apresentou maior absorção.

Tabela 18 – Resultados obtidos no ensaio do cachimbo

	Elemento	Corpo de prova			Tempo (minutos)				
		Dimensão	Formato	QTD	5	10	15	30	60
Absorção (ml) média	Argamassa	5x10 cm	cilindro	6	1,40	3,50	4,77	8,17	12,73
	Bloco de concreto	14x19x29	bloco	3	3,30	4,05	4,75	6,40	8,35
	Bloco cerâmico	14x19x29	bloco	3	1,00	1,55	2,05	3,25	5,15
	Prisma bloco de concreto	29x39 cm	parede	2	0,35	0,75	1,00	1,83	3,40
	Prisma bloco cerâmico	29x39 cm	parede	2	0,15	0,40	0,60	1,05	1,80

Fonte: Autor.

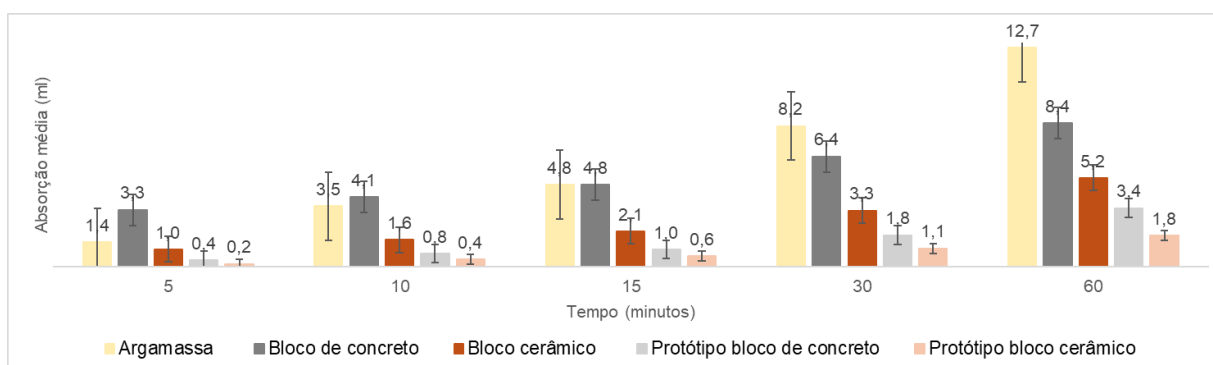
A análise do gráfico evidencia que, nas leituras iniciais, o bloco de concreto apresentou uma taxa de absorção superficial superior à da argamassa isolada e expressivamente maior que a do bloco cerâmico em todos os intervalos avaliados. Em contrapartida, ao se analisar a absorção superficial do sistema composto (protótipos revestidos), nota-se que a divergência de comportamento entre os diferentes substratos é significativamente atenuada.

Esse fenômeno corrobora o que foi indicado por Paes (2004), que aponta um transporte considerável de água da argamassa no estado fresco em virtude da sucção capilar do substrato, fator particularmente crítico em revestimentos de menor espessura. Nesse contexto, o volume de água migrado para o bloco de concreto supera o absorvido pelo bloco cerâmico. Tal dinâmica é governada pelas características da rede porosa dos substratos — tais como diâmetro, estrutura,

volume, distribuição e interconectividade —, as quais, aliadas às suas propriedades superficiais, determinam a magnitude e a velocidade do fluxo de água.

Consequentemente, essa rápida perda de água altera a microestrutura da argamassa na zona de contato com a base. A intensa sucção inicial dos substratos promove a formação de uma rede de poros com menores diâmetros na região da interface, em comparação com as camadas mais externas do revestimento. Essa modificação microestrutural, somada à aplicação prévia da camada de chapisco nos protótipos, atua como um fator regulador. O conjunto chapisco-interface consolidada atua uniformizando a absorção de água proveniente do meio externo, o que justifica a aproximação dos índices de absorção entre os protótipos constituídos por blocos cerâmicos e de concreto no estado endurecido.

Gráfico 1 – Resultado do ensaio do cachimbo com indicação da absorção em volume (ml) em relação ao tempo (minutos)



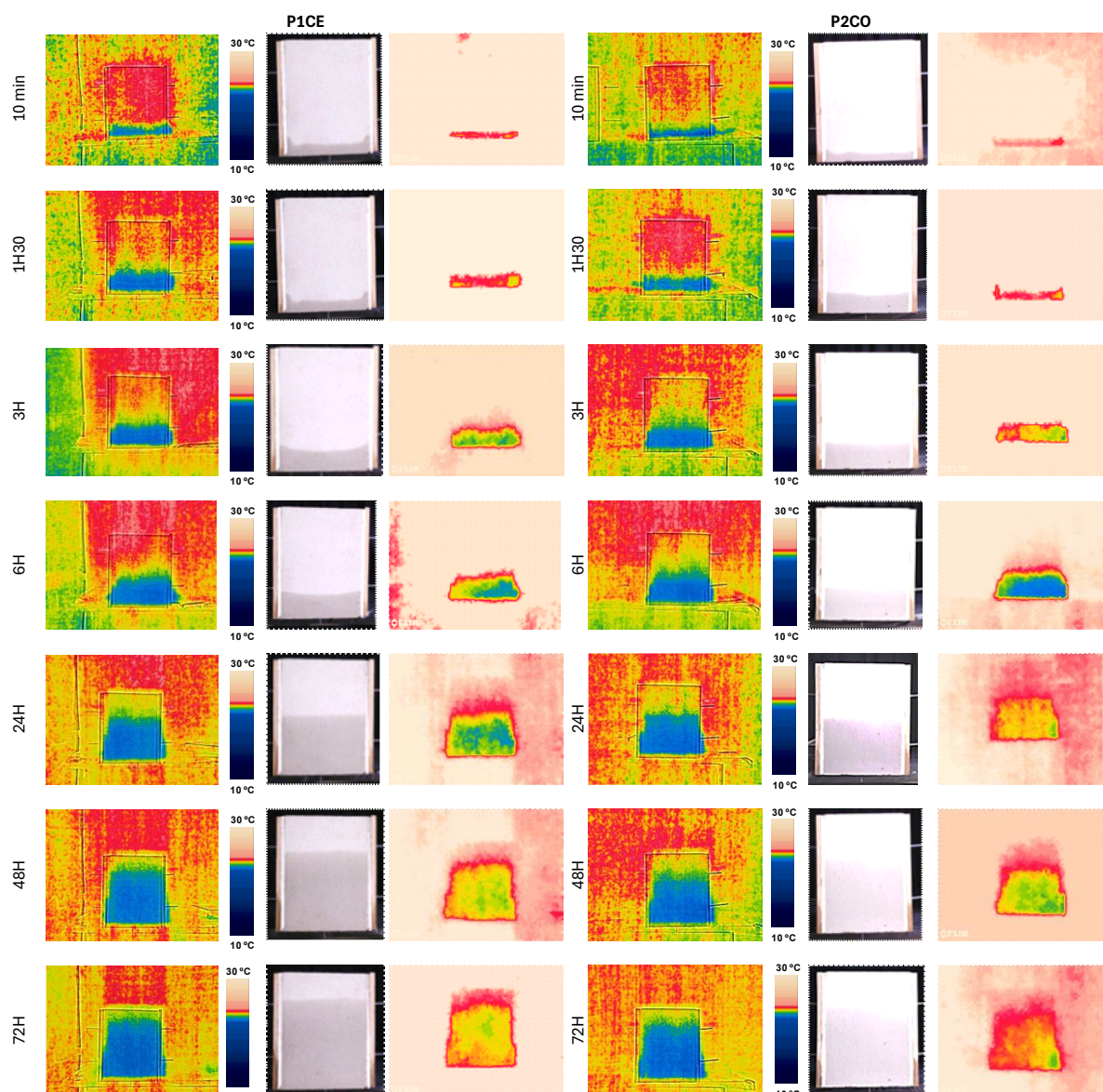
Fonte: Autor.

4.2. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO

4.2.1. Termografia qualitativa

Foram comparados os termogramas da Flir C5 (de resolução $160 \times 120 = 19.200$ pixels), do medidor de umidade Flir MR160 (de resolução $80 \times 60 = 4.800$ Pixels), e da câmera digital convencional, respectivamente. Mesmo com resoluções térmicas diferentes foi possível detectar a presença da anomalia, delimitar a altura aproximada e, consequentemente, mapear as áreas de maior e menor umidade. Os termogramas da Flir C5 possibilitam melhor delimitação da área afetada. Verificou-se por meio dos termogramas e das imagens digitais que a altura obtida no Protótipo Cerâmico (PCE) foi levemente superior a obtida no Protótipo de Concreto (PCO).

Figura 60 – Termogramas Flir C5, Flir MR160 e imagem digital para os protótipos PCE (à esquerda) e PCO (à direita), nos intervalos de 10 minutos, 1h30, 3h, 6h, 24h, 48h e 72h (de cima para baixo)



Fonte: Autor.

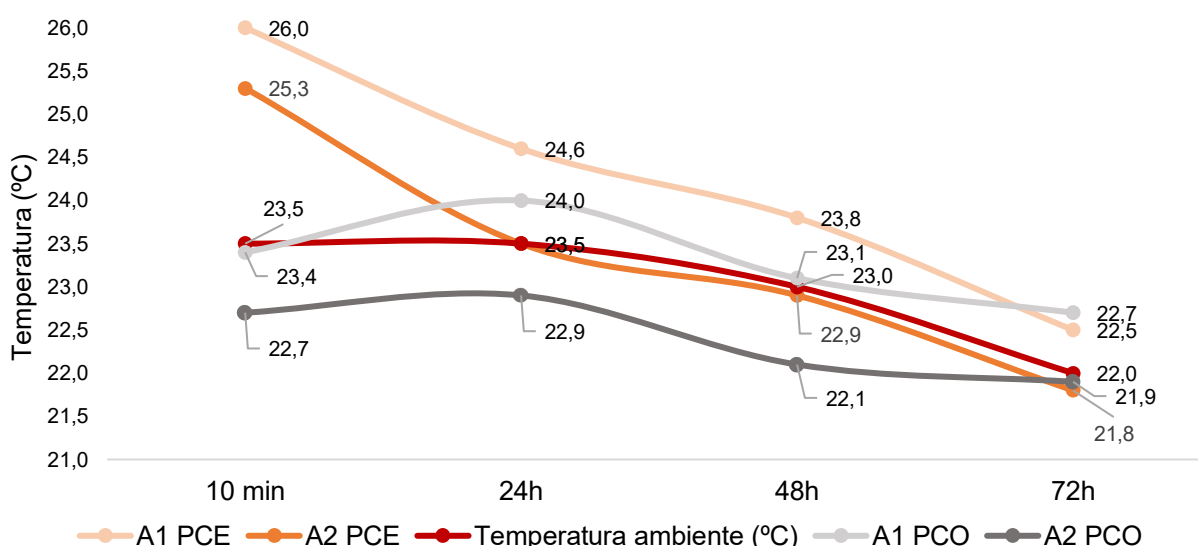
4.2.2. Termografia quantitativa

As temperaturas obtidas para cada protótipo nos quatro dias de ensaio foram apresentadas no Gráfico 2, onde cada protótipo apresenta duas linhas, sendo a linha A1 referente a região superior e A2 a região inferior, conforme foi exposto na metodologia. A temperatura ambiente durante todo o ensaio foi de $23,5 \pm 1,5$ °C. Verificou-se que as áreas A1 e A2 apresentaram comportamento semelhante dentro do mesmo protótipo. Além disso, as áreas superiores apresentaram temperaturas maiores quando comparadas as áreas inferiores, como era esperado.

Observou-se que nas primeiras horas de ensaio o protótipo de bloco cerâmico apresentou uma diminuição mais rápida da temperatura. Entende-se que isso se deve ao fato de que o bloco cerâmico apresenta menor permeabilidade na face lateral, como foi evidenciado pelo ensaio do cachimbo, concentrando maior volume de água a temperatura ambiente na camada de argamassa, gerando o resfriamento mais rápido. A Figura 61 ilustra o que foi indicado anteriormente.

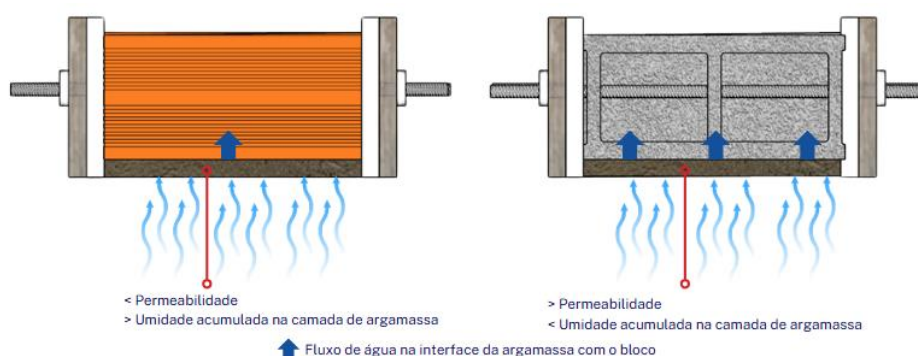
Apesar das temperaturas iniciais serem divergentes, ambos os protótipos apresentam temperaturas semelhantes para as duas áreas após 72 horas de ensaio, o que corresponde a leitura no dia 4, com desvio padrão nulo quando comparado A2 e desvio padrão de 0,1 °C quando comparado A1, conforme Tabela 19.

Gráfico 2 - Temperaturas obtidas no Protótipo Bloco de Concreto (PCO), Protótipo Bloco Cerâmico (PCE) e Temperatura ambiente



Fonte: Autor.

Figura 61 – Esquema que ilustra a permeabilidade divergente entre os diferentes substratos



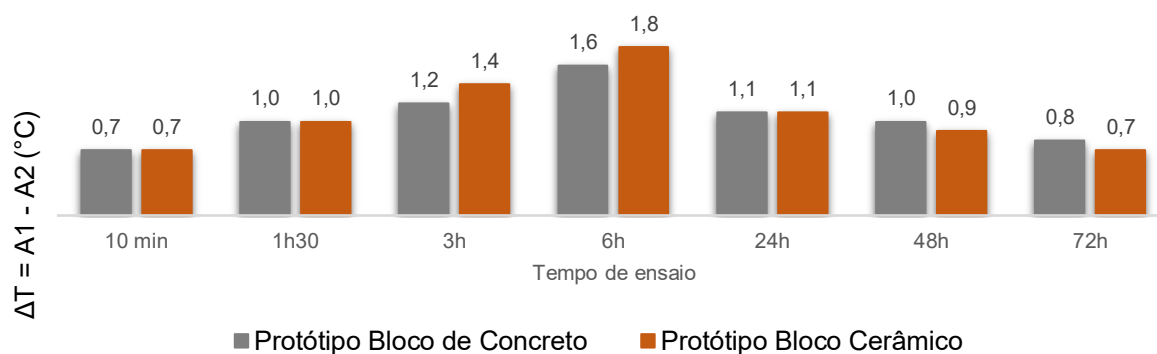
Fonte: Autor.

Tabela 19 – Desvio padrão entre as temperaturas A1 e A2 PCE e PCO

Desvio padrão (°C)	Dia 1 (10 min)	Dia 2 (24 h)	Dia 3 (48 h)	Dia 4 (72 h)
Desvio padrão entre A1 PCE e PCO	1,8	0,4	0,5	0,1
Desvio padrão entre A2 PCE e PCO	1,3	0,3	0,4	0,0

Fonte: Autor.

A maior variação de temperatura quando comparado o ΔT do PCE com o PCO foi de 0,2 °C nas primeiras horas de ensaio (Gráfico 3), podendo ser desconsiderada a influência do substrato (Rocha; Santos; Póvoas, 2018). Além disso, embora as variações de temperatura dos protótipos tenham aumentado nas primeiras horas de ensaio, observou-se que eles tendem a se estabilizar conforme o ensaio avança, não existindo variação entre os substratos.

Gráfico 3 - Variação de temperatura entre protótipos de diferentes substratos ($\Delta T = A1 - A2$)

Fonte: Autor.

4.2.3. Análise da presença de umidade

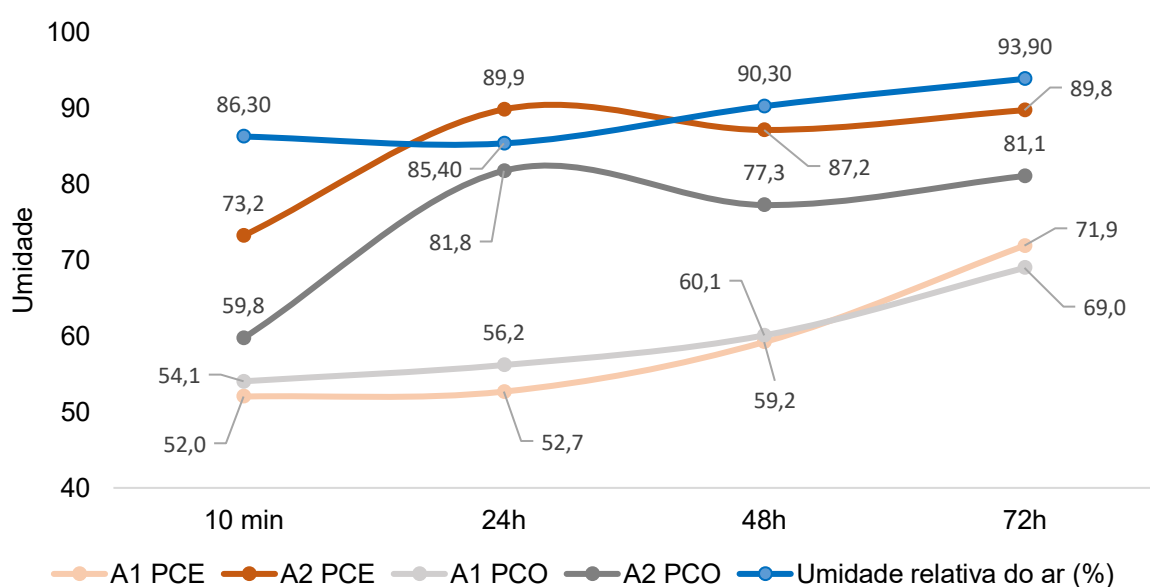
As umidades obtidas para cada protótipo nos quatro dias de ensaio foram apresentadas no Gráfico 4, onde cada protótipo apresenta duas linhas, sendo a linha A1 referente a região superior e A2 a região inferior, conforme foi exposto na metodologia. As medições de umidade realizadas nos protótipos foram disponibilizadas no apêndice desta dissertação. A umidade relativa do ar durante todo o ensaio foi de $87,9 \pm 6 \%$.

Verificou-se que durante o ensaio o protótipo de bloco de concreto apresentou umidade inferior quando comparado ao protótipo de bloco cerâmico na A2. Entende-se que o bloco de concreto possui poros interconectados de maior tamanho e volume na superfície, permitindo maior transporte de água na interface entre o bloco e a

argamassa (Paes *et. al*, 2014), como foi observado no ensaio do cachimbo, justificando a menor presença de umidade na superfície do PCO.

No entanto, embora a umidade média tenha sido menor no PCO, verificou-se que ambos os protótipos apresentaram valores de umidade semelhantes durante todo o ensaio, conforme pode ser observado por meio da Tabela 20 que contém o desvio padrão entre a umidade média das áreas A1 e A2 entre PCE e PCO.

Gráfico 4 - Medições de umidade no Protótipo Bloco de Concreto (PCO), Protótipo Bloco Cerâmico (PCE) e Umidade relativa do ar (%)



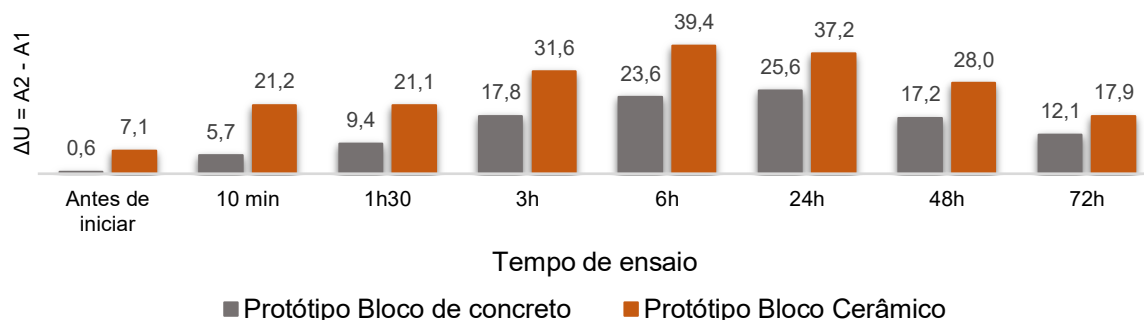
Fonte: Autor.

Tabela 20 - Desvio padrão entre as medições de umidade nas áreas A1 e A2 entre PCE e PCO

Desvio padrão (Umidade)	Dia 1 (10 min)	Dia 2 (24 h)	Dia 3 (48 h)	Dia 4 (72 h)
Desvio padrão entre A1 PCE e PCO	2,16	2,47	0,63	2,08
Desvio padrão entre A2 PCE e PCO	2,43	5,72	6,99	6,13

Fonte: Autor.

A maior variação de umidade quando comparado o ΔU do PCE com o PCO foi de 15,8 pontos nas primeiras horas de ensaio (Gráfico 5), expondo que a verificação por medidor de umidade apresentou o mesmo comportamento que a leitura por termografia. Verificou-se que a variação de umidade na leitura do quarto dia (72 h) foi de 5,8 pontos, o que correspondeu a um desvio padrão de 4,1, conforme Tabela 21, expondo ausência de influência do substrato na percepção do fenômeno de umidade ascendente.

Gráfico 5 - Variação de umidade entre protótipos de diferentes substratos ($\Delta U = A2 - A1$)

Fonte: Autor.

Tabela 21 – Desvio padrão entre os valores de ΔU PCE e PCO

Variação de umidade	Antes de iniciar	10 min	1 h 30	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h
ΔU PCO	0,6	5,7	9,4	17,8	23,6	25,6	17,2	12,1
ΔU PCE	7,1	21,2	21,1	31,6	39,4	37,2	28,0	17,9
ΔU PCE - ΔU PCO	6,5	15,5	11,8	13,8	15,8	11,6	10,8	5,8
Desvio padrão	4,6	11,0	8,3	9,7	11,2	8,2	7,6	4,1

Fonte: Autor.

4.3. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO

4.3.1. Termografia qualitativa

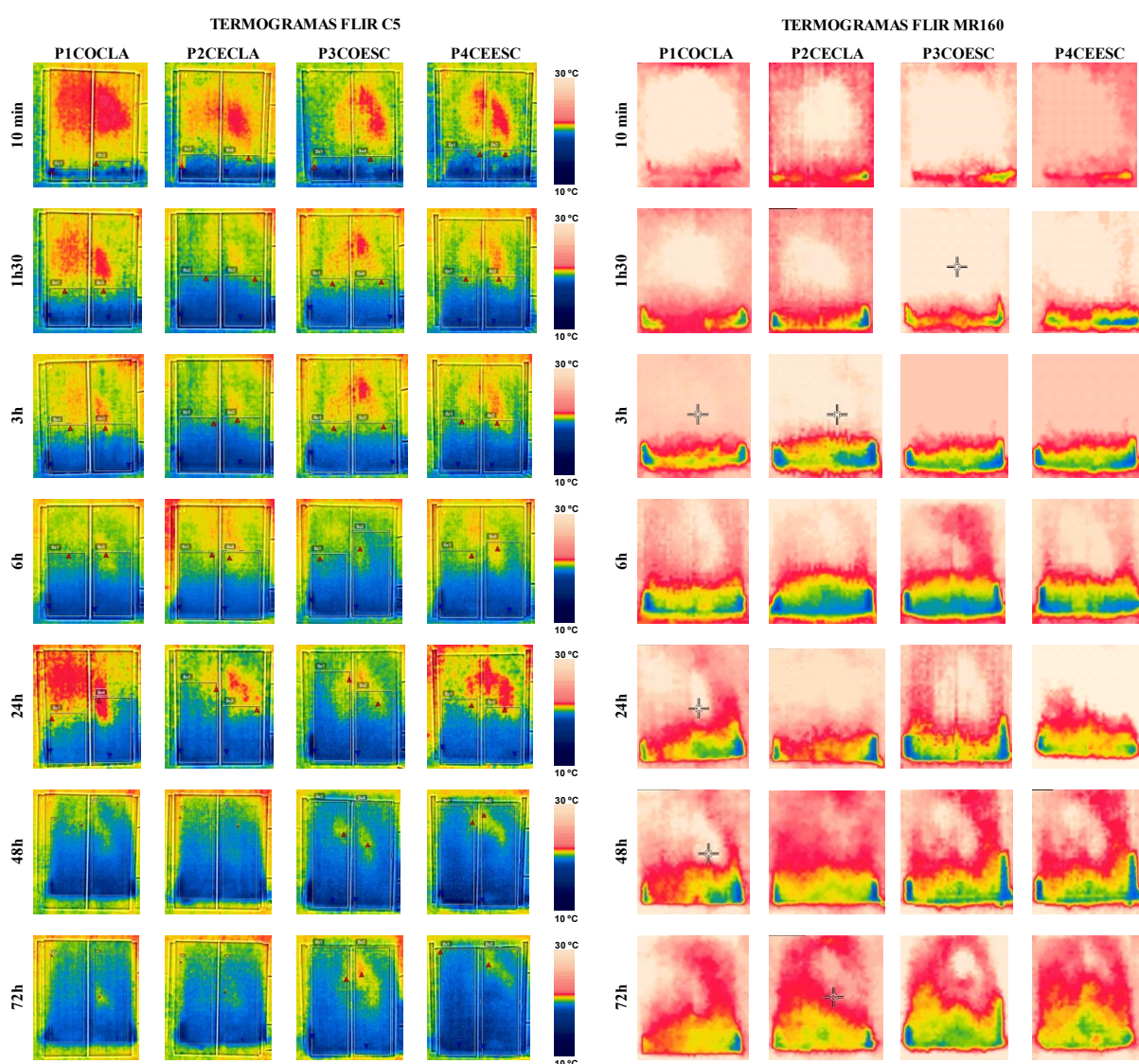
Observou-se por meio da Figura 62 que mesmo com resoluções térmicas diferentes foi possível detectar a presença da anomalia, delimitar a altura aproximada e, conseqüentemente, mapear as áreas de maior e menor umidade. Os termogramas da Flir C5 possibilitam melhor delimitação da área afetada em comparação ao medidor com imagem térmica Flir MR160.

Por meio de ambos os equipamentos foi possível observar que na fase inicial (10 min a 3 h), houve crescimento acentuado da altura de ascensão para todos os protótipos, evidenciando elevada taxa de sucção capilar, característica típica do fenômeno da umidade ascendente, conforme havia sido constatado pelos ensaios laboratoriais de capilaridade dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos.

Na fase intermediária (3 h a 24 h), observou-se redução na taxa de crescimento da altura, indicando aumento da resistência ao fluxo de água no interior dos materiais. Nesse período, começam a surgir diferenças entre os sistemas, ainda que não sistemáticas, possivelmente associadas às características da interface revestimento-substrato e à variabilidade experimental.

Nas leituras realizadas entre 48 h e 72 h, verificou-se tendência de estabilização da altura de ascensão, com valores convergindo para próximo do topo em diversos protótipos. Algumas paredes apresentaram inclusive aparente redução da altura da área afetada pela umidade, expondo menor contraste térmico. De modo geral, os resultados indicam que a termografia pode ser considerada como método eficaz mesmo na presença de revestimentos de absorção de água inferior a 0,5%, mas o equipamento não é capaz de indicar a gravidade do problema, conforme também foi observado por Dafico *et al.* (2022) e Rocha, Santos e Póvoas (2018).

Figura 62 - Termogramas obtidos pela Flir C5 e termogramas obtidos pelo medidor Flir MR160.



Fonte: Autor.

Ainda de acordo com a Figura 6, destaca-se que os termogramas obtidos pelo Flir MR160 não apresentam escala de temperatura. Além disso, entende-se que por

possuírem menor resolução e sensibilidade térmica apresentaram temperaturas aparentemente mais elevadas e menor contraste térmico, com redução das áreas frias quando comparados aos termogramas da Flir C5. Esse comportamento corrobora os resultados de Guolo *et al.* (2023), que observaram que equipamentos com menor desempenho térmico tendem a registrar temperaturas superiores, em função da sua menor capacidade de captar variações térmicas sutis.

4.3.2. Termografia quantitativa

A Tabela 22 apresenta os valores consolidados de ΔT e ΔU , umidade e temperatura na base e no topo para as 16 combinações analisadas por meio do *software* Statistica no tempo de leitura de 24h, por se tratar de um intervalo usualmente adotado em ensaios de avaliação de umidade, considerado representativo para a estabilização do processo de absorção e porque a partir desse período o medidor de umidade apresentou leitura máxima (100) nas bases de todos os protótipos, conforme já havia sido indicado na metodologia. Cada parede foi submetida ao ensaio de umidade por ascensão capilar duas vezes.

Verificou-se que o menor valor de ΔT obtido com 24h foi de 0,9 °C e o maior 1,6 °C, valores extremamente próximos independente das variáveis envolvidas. O menor valor de ΔU obtido com 24h foi de 19,4 para o porcelanato e o maior foi de 83,9 para o revestimento cerâmico semi-poroso.

O delineamento experimental permitiu avaliar a influência das variáveis tipo de bloco (concreto ou cerâmico), absorção de água do revestimento (porcelanato ou cerâmica semi-porosa) e coloração (clara ou escura) sobre o comportamento higrotérmico dos protótipos. Os dados que foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do *software* Statistica revelaram que a absorção de água foi o único fator estatisticamente significativo ($p < 0,05$) (Tabela 23).

Tabela 22 – Tabela com os valores consolidados de ΔT e ΔU obtidos, além de umidade e temperatura da base.

	BLOCO	MATERIAL	COR	ΔT	ΔU	UMIDADE TOPO	UMIDADE BASE	TEMPERATURA TOPO	TEMPERATURA BASE
1	CONCRETO	PORCELANATO	CLARO	-1	22	38,1	60,1	20,6	19,6
2	CONCRETO	PORCELANATO	CLARO	-1,7	24,8	38,8	63,6	21,5	19,8
3	CONCRETO	SEM POROSA	CLARO	-1	72,5	27,5	100	20,3	19,3
4	CONCRETO	SEM POROSA	CLARO	-1,5	73	27,1	100	21,3	19,8
5	CERÂMICO	PORCELANATO	CLARO	-0,9	23,7	37,8	55,5	16,9	16
6	CERÂMICO	PORCELANATO	CLARO	-1,7	19,4	34,2	53,6	21,8	20,1
7	CERÂMICO	SEM POROSA	CLARO	-0,9	72,6	27,5	100	16,9	16
8	CERÂMICO	SEM POROSA	CLARO	-1,6	66	34	100	21,6	20
9	CONCRETO	PORCELANATO	ESCURO	-1,1	22,7	35,7	58,4	16,6	15,5
10	CONCRETO	PORCELANATO	ESCURO	-1,7	26,1	34,4	60,5	26,2	24,5
11	CONCRETO	SEM POROSA	ESCURO	-1,1	83,9	16,2	100	16,7	15,6
12	CONCRETO	SEM POROSA	ESCURO	-1,6	78,5	21,6	100	26,1	24,5
13	CERÂMICO	PORCELANATO	ESCURO	-1	20,9	38,3	59,2	20,2	19,2
14	CERÂMICO	PORCELANATO	ESCURO	-1,6	19,4	33,9	53,3	18,9	17,3
15	CERÂMICO	SEM POROSA	ESCURO	-1,1	71,8	28,2	100	20,3	19,2
16	CERÂMICO	SEM POROSA	ESCURO	-1,6	81,8	18,2	100	18,9	17,3

Fonte: Autor.

Tabela 23 - A absorção de água do material foi a única variável com influência significativa $p < 0,05$).

Efeito	Teste	Valor	Estatística F	Graus de liberdade do efeito	Graus de liberdade do erro	Valor de p
Intercepto	Wilks	0,002541	1373,918	2	7	0
Bloco	Wilks	0,679329	1,652	2	7	0,258393
Material	Wilks	0,00945	366,88	2	7	0
Cor	Wilks	0,626204	2,089	2	7	0,194314
Bloco*material	Wilks	0,990145	0,035	2	7	0,96593
Bloco*cor	Wilks	0,97315	0,097	2	7	0,909136
Material*cor	Wilks	0,607717	2,259	2	7	0,174966
Bloco*material*cor	Wilks	0,994379	0,02	2	7	0,980465

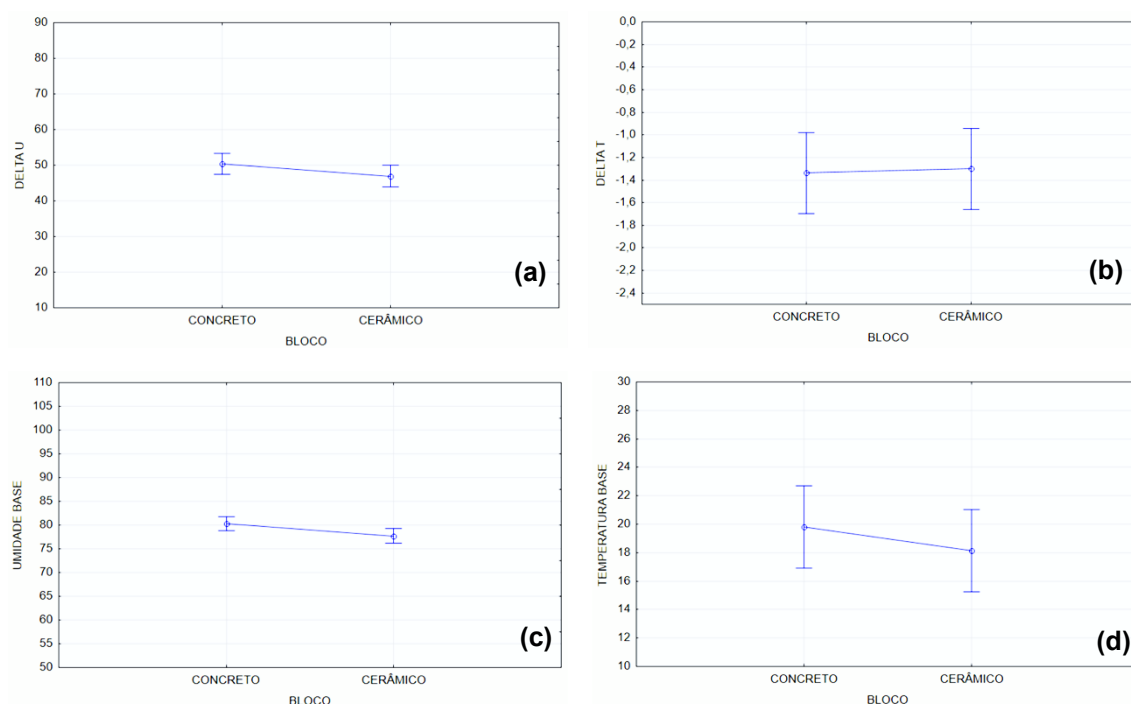
Fonte: Autor.

4.3.3. Influência do substrato (bloco cerâmico e de concreto)

Os protótipos de bloco de concreto apresentaram maior variação superficial de umidade quando comparados aos cerâmicos, conforme pode ser observado na Figura 63. De forma que a análise estatística está alinhada com os resultados preliminares indicados na etapa de ensaios laboratoriais. Uma vez que o bloco cerâmico apresenta maior absorção de água, ele compete com o revestimento, drenando a umidade para o núcleo da parede. O bloco de concreto, por sua vez, apresenta menor absorção, por isso permite que maior teor de umidade permaneça disponível na interface argamassa/revestimento, facilitando a leitura superficial pelos instrumentos. Embora sem significância estatística global na ANOVA, observou-se uma tendência na variação de umidade de acordo com a mudança entre os substratos.

Entende-se que a presença do sistema de revestimento (argamassa + acabamento cerâmico) sobre o bloco atuou como um elemento equalizador. Isso sugere que, para a detecção de umidade ascendente via termografia e medidor de contato em paredes revestidas, as propriedades da camada superficial (acabamento) prevalecem sobre as propriedades do substrato interno.

Figura 63 – Gráficos de análise da influência do substrato em relação a variação de umidade (a), variação de temperatura (b), umidade na base (c) e temperatura na base (d), com intervalo de confiança de 0,95.



Fonte: Autor.

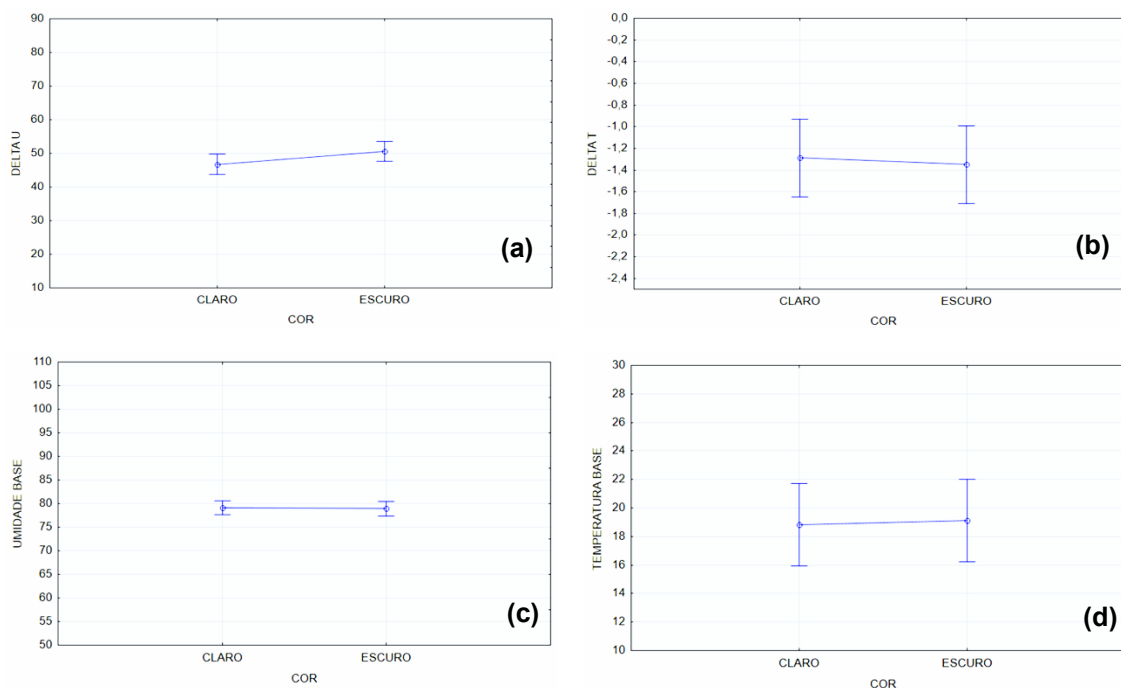
4.3.4. Influência da cor do revestimento

A análise dos gráficos para a variável "Cor" demonstrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os revestimentos de cor clara e escura quanto à detecção da umidade ou temperatura superficial no ambiente de laboratório, conforme pode ser verificado na Figura 64.

Este resultado pode ser atribuído às condições controladas do ensaio, realizado em ambiente interno (Laboratório de Conforto), sem a incidência direta de radiação solar (passiva) ou outra fonte ativa. A literatura indica que a influência da cor na termografia é preponderante sob radiação solar, onde superfícies escuras absorvem mais calor, gerando maior contraste térmico entre áreas secas e úmidas (Lourenço; Matias; Faria, 2017). Na ausência de fonte térmica externa (sol), o comportamento térmico das superfícies claras e escuras se mostrou ser similar, dependendo

majoritariamente das trocas térmicas por convecção e da evaporação da água, e não da absorvidade do material.

Figura 64 – Gráficos de análise da influência da cor em relação a variação de umidade (a), variação de temperatura (b), umidade na base (c) e temperatura na base (d), com intervalo de confiança de 0,95.



Fonte: Autor.

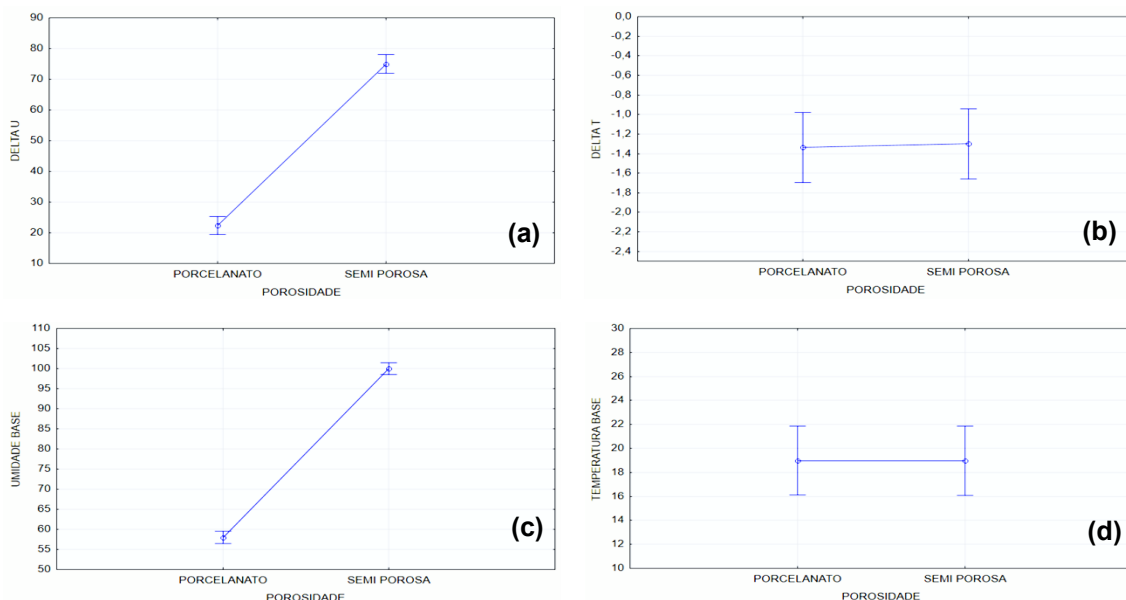
4.3.5. Influência da absorção de água do revestimento

Ao contrário das variáveis anteriores, a absorção de água do revestimento apresentou-se como um fator determinante nos resultados obtidos. A análise de variância indicou diferenças significativas entre os protótipos revestidos com porcelanato e aqueles com cerâmica semi-porosa, seja pela umidade na base ou pela variação de umidade. Quando avaliada a temperatura na base ou a variação de temperatura obtida pela termografia, verificou-se que não houve dado estatisticamente significativo, conforme exposto na Figura 65.

Os resultados obtidos indicam que valores de umidade na base da ordem de 55 a 60 pontos, observados nos corpos de prova revestidos com porcelanato, correspondem a valores próximos de 100 pontos quando avaliados em revestimentos cerâmicos semi-porosos. Tal comportamento evidencia a influência direta da absorção de água do revestimento na resposta do medidor por impedância, demonstrando que a exposição de diferentes sistemas a um mesmo nível de umidade pode se manifestar com intensidades significativamente distintas em função das características físicas do

material de acabamento por meio do medidor de umidade (55 a 60 em comparação com 100), mas terá leitura muito similar por meio da termografia (19°C).

Figura 65 – Gráficos de análise da absorção de água em relação a variação de umidade (a), variação de temperatura (b), umidade na base (c) e temperatura na base (d), com intervalo de confiança de 0,95.



Fonte: Autor.

Enquanto o porcelanato mantém a variação de umidade em patamares baixos (15-30), o revestimento semi-poroso permite que a umidade atinja níveis críticos (70-80). Com relação a cor, as análises mostraram de forma evidente que a coloração do revestimento não apresentou influência expressiva.

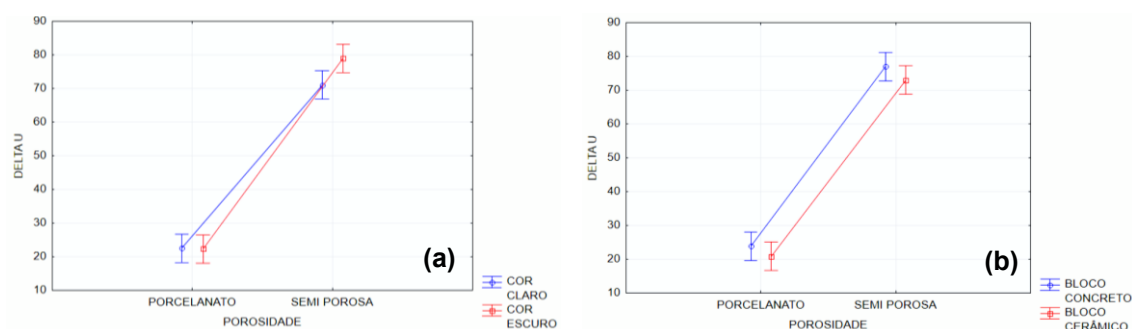
Por fim, ao analisar a umidade na base dos protótipos, verificou-se uma leve tendência de que haja maior valor de umidade na base dos protótipos de bloco de concreto, muito provavelmente porque essa tipologia apresenta absorção de água inferior ao do bloco cerâmico, provocando maior concentração de água na camada de argamassa e na placa.

Destaca-se, no entanto, que durante a fase experimental sem o revestimento cerâmico (apenas no sistema argamassado), observou-se que a permeabilidade lateral do bloco de concreto é significativamente superior à do bloco cerâmico, conforme demonstrado pelo ensaio do cachimbo, de modo que o bloco de concreto absorve o volume de água de forma muito mais célere devido ao maior volume de poros de grandes dimensões. Na prática, o bloco cerâmico acaba apresentando menor permeabilidade lateral imediata. Isso faz com que a umidade permaneça

concentrada por mais tempo nas camadas superficiais (revestimento e argamassa), elevando a detecção sensorial pelos instrumentos de contato.

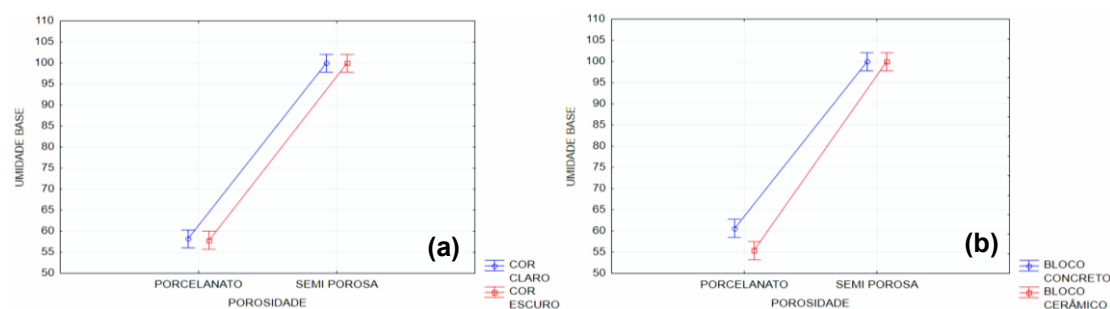
Conclui-se, portanto, que o acabamento passa a atuar como um elemento equalizador do sistema. Independentemente das propriedades do bloco (substrato), a absorção da placa cerâmica (revestimento) torna-se o fator preponderante, prevalecendo sobre as características internas da alvenaria para a detecção termo-higrométrica, conforme pode ser observado por meio das figuras 66 e 67.

Figura 66 – Gráficos de variação de umidade com relação a absorção de água e diferença de coloração (a), absorção de água e diferentes tipos de bloco (b).



Fonte: Autor.

Figura 67 – Gráficos de medição de umidade com relação a absorção de água e diferença de coloração (a), absorção de água e diferentes tipos de bloco (b).



Fonte: Autor.

4.4. APLICABILIDADE DAS TÉCNICAS E CORRELAÇÃO

A análise qualitativa dos termogramas revelou que, apesar da diferença de resolução entre a câmera Flir C5 e o medidor Flir MR160, ambos os equipamentos foram eficazes na identificação inicial da presença de umidade ascendente e no mapeamento da altura da umidade.

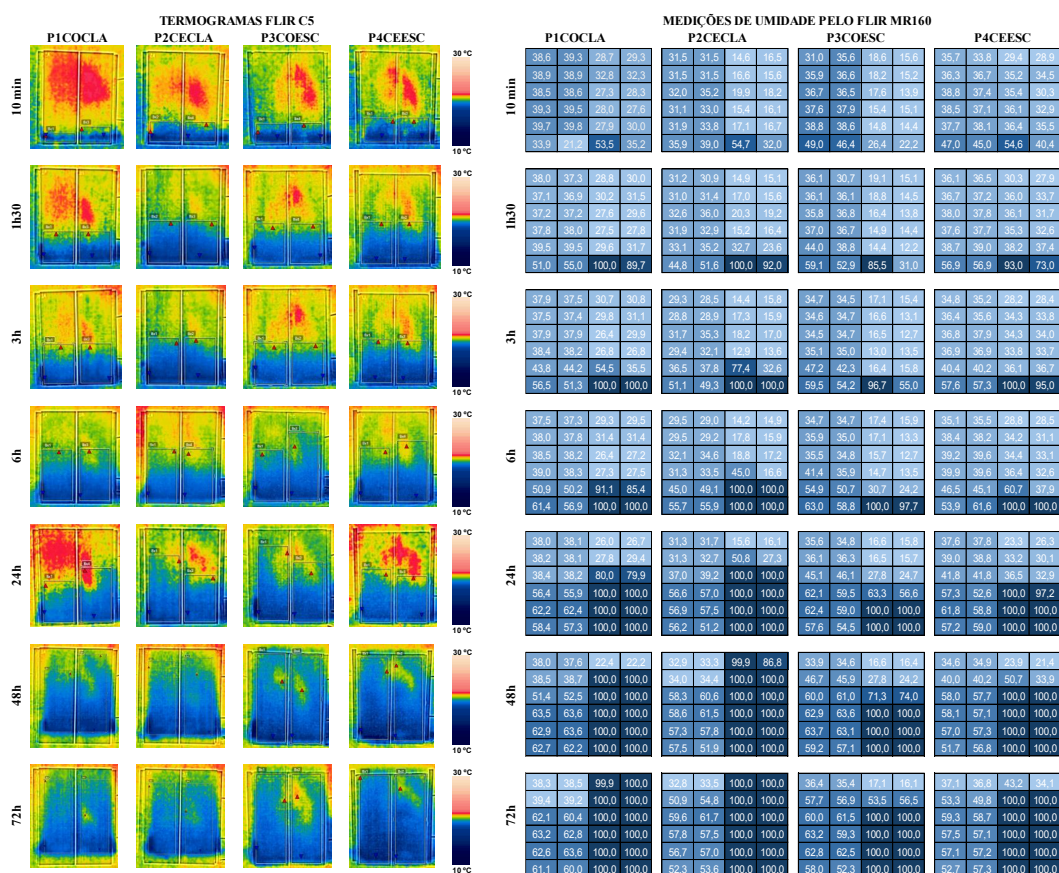
A Figura 68 apresenta os termogramas obtidos pela câmera Flir C5 associados às medições de umidade, nas quais a coloração em tons de azul mais escuro indica

maiores teores de umidade. Observou-se de forma evidente a influência da absorção de água do revestimento cerâmico, uma vez que, desde o primeiro dia de ensaio, já se nota diferença significativa entre o lado direito do protótipo (revestimento cerâmico semi-poroso) e o lado esquerdo (porcelanato de baixa absorção), sendo o primeiro caracterizado por maiores valores de umidade.

Verificou-se ainda que, embora a medição de umidade tenha indicado valores mais elevados até o topo no revestimento de coloração branca, esse comportamento pode estar associado à variabilidade experimental.

Adicionalmente, a Figura 68 evidenciou que, em consonância com Dafico *et al.* (2022), houve aumento da variação de temperatura antes da indicação de umidade pelo medidor nas mesmas regiões. Esse resultado reforça que a termografia infravermelha pode antecipar a identificação de áreas potencialmente afetadas, enquanto as medições de umidade permitem avaliar a gravidade do fenômeno, conforme já havia sido sinalizado por Rocha, Santos e Póvoas (2018).

Figura 68 – Termogramas capturados na primeira vez que o ensaio foi realizado.



Fonte: Autor.

4.5. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Com base nos resultados experimentais e nas análises de variância apresentadas, estabelecem-se as seguintes recomendações para a inspeção de umidade ascendente em edificações:

- Etapa 1 – Levantamento preliminar do sistema construtivo

Antes da realização das medições, recomenda-se identificar, sempre que possível, as características do sistema construtivo avaliado, incluindo o tipo de revestimento cerâmico, sua classe de absorção de água e, quando disponível, o tipo de bloco utilizado na alvenaria. Essas informações auxiliam na interpretação dos resultados, uma vez que as propriedades físicas dos materiais podem influenciar a migração e a distribuição da umidade no sistema.

- Etapa 2 – Avaliação inicial por termografia infravermelha

A termografia infravermelha pode ser empregada como ferramenta de varredura inicial da superfície, permitindo identificar regiões com possíveis anomalias térmicas associadas à presença de umidade. Essa etapa possibilita direcionar as medições pontuais subsequentes para áreas potencialmente críticas, otimizando o processo de inspeção.

- Etapa 3 – Confirmação por medições de umidade

Após a identificação das áreas de interesse por meio da termografia, recomenda-se a realização de medições complementares utilizando medidor de umidade por impedância. Essa etapa permite confirmar a presença de umidade e reduzir a possibilidade de interpretações equivocadas decorrentes da análise exclusivamente térmica, especialmente em situações em que o sistema construtivo se encontra em equilíbrio térmico.

- Etapa 4 – Interpretação considerando as propriedades do revestimento

Na interpretação dos resultados, recomenda-se considerar as propriedades físicas do revestimento cerâmico, especialmente sua absorção de água, uma vez que essa característica pode influenciar a intensidade das respostas obtidas pelos instrumentos de avaliação. Revestimentos com diferentes classes de absorção podem

apresentar variações na magnitude das leituras de umidade ou no contraste térmico observado.

No entanto, os resultados desta pesquisa indicam que, em ambiente interno, independentemente da tipologia do revestimento — seja cerâmica de maior absorção ou porcelanato de baixa absorção — foi possível identificar a presença da anomalia associada à umidade ascendente por meio dos métodos aplicados. Adicionalmente, não foram observadas influências expressivas relacionadas ao tipo de bloco da alvenaria ou à coloração do revestimento cerâmico nas condições analisadas.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a presença de umidade ascendente em protótipos de paredes de alvenaria, utilizando métodos não destrutivos para avaliar a influência do substrato e do revestimento cerâmico na detecção do fenômeno. A partir dos resultados experimentais obtidos e das análises estatísticas realizadas, foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

- Aplicabilidade dos métodos não destrutivos

Aplicabilidade dos métodos não destrutivos: A utilização da termografia infravermelha associada às medições de umidade por impedância mostrou-se adequada para a avaliação do fenômeno da umidade ascendente em paredes. A termografia possibilitou a identificação do fenômeno, permitindo a visualização de padrões térmicos associados à presença de umidade, enquanto o medidor de umidade possibilitou a obtenção de medições relativas que contribuíram para a confirmação do diagnóstico.

- Correlação entre os métodos de avaliação

Os resultados indicam que os métodos apresentam comportamento complementar no diagnóstico da umidade ascendente. A termografia infravermelha demonstrou maior sensibilidade para a identificação inicial do fenômeno, especialmente em estágios iniciais. Entretanto, após períodos prolongados, o equilíbrio térmico entre as regiões úmidas e secas pode reduzir o contraste térmico observado nos termogramas, tornando necessária a utilização conjunta do medidor de umidade por impedância para evitar interpretações equivocadas ou falsos negativos.

- Influência do tipo de bloco utilizado

Embora os blocos cerâmicos e de concreto apresentem diferenças em relação às suas propriedades físicas, especialmente no que se refere à absorção de água total e à permeabilidade lateral, verificou-se que o tipo de substrato exerce influência secundária na detecção da umidade ascendente após a aplicação do revestimento cerâmico. Dessa forma, a presença do revestimento tende a reduzir as diferenças de comportamento entre os diferentes tipos de blocos no contexto da avaliação realizada.

- Influência das características do revestimento cerâmico

A absorção de água do revestimento cerâmico foi identificada como o único fator estatisticamente significativo ($\alpha < 0,05$) para a detecção e mensuração da umidade nos ensaios realizados. Esse resultado evidencia que as propriedades físicas do revestimento desempenham papel relevante na resposta dos métodos de avaliação empregados. Por outro lado, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas relacionadas à coloração das placas cerâmicas em condições de ambiente interno e na ausência de radiação térmica ativa, indicando que esse fator não interfere de forma relevante na resposta térmica observada.

- Recomendações técnicas para a prática profissional

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que inspeções diagnósticas relacionadas à umidade ascendente em ambientes internos considerem a utilização conjunta da termografia infravermelha e de medições de umidade por impedância, de modo a aumentar a confiabilidade das avaliações realizadas. Adicionalmente, os resultados indicam que fatores como o tipo de substrato e a coloração do revestimento cerâmico atuam como fatores secundários nas condições analisadas, podendo receber menor prioridade em avaliações diagnósticas realizadas em situações semelhantes.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas limitações observadas e nos resultados obtidos nesta pesquisa, sugerem-se as seguintes frentes para estudos futuros:

- **Avaliação sob radiação solar direta:** Recomenda-se a replicação do experimento em ambiente externo, a fim de quantificar o impacto da coloração na detecção, uma vez que a literatura sugere que essa variável se torna estatisticamente significativa sob fontes de calor radiante;
- **Emprego de termografia ativa:** Investigar o uso de fontes térmicas artificiais em inspeções internas para induzir gradientes de temperatura controlados, buscando mitigar o efeito de equilíbrio térmico que dificulta a visualização da frente úmida em condições de isoterma superficial após períodos prolongados;
- **Desenvolvimento de matrizes de calibração:** Propor estudos que correlacionem o índice de absorção de diferentes classes de revestimentos cerâmicos com os valores de referência dos medidores de umidade, visando a criação de curvas de calibração que permitam correlacionar teores de umidade na prática pericial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, M.T.P., SÁTIRO, D.E.A., ALVARENGA, C.B.C.S. *et al.* Use of Passive Thermography to Detect Detachment and Humidity in Façades Clad with Ceramic Materials of Differing Porosities. *J Nondestruct Eval* 42, 92. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10921-023-01007-y>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM F2659-23. *Preliminary Evaluation of Comparative Moisture Condition of Concrete, Gypsum Cement and Other Floor Slabs and Screeds Using a Non-Destructive Electronic Moisture Meter*. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP. Mãos à obra. Todas as etapas da construção. Dicas importantes para você construir ou reformar a sua casa. 2016. Disponível em: <https://abcp.org.br/maos-a-obra-2/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5671: Participação dos intervenientes em serviços e obras de engenharia e arquitetura. Rio de Janeiro. 1990.

_____. ABNT NBR 5674: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro. 2024a.

_____. ABNT NBR 6136. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro. 2016.

_____. ABNT NBR 7200. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimentos. Rio de Janeiro. 1998.

_____. ABNT NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005a.

_____. ABNT NBR 9779. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro. 2012.

_____. ABNT NBR 12118. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2013.

_____. ABNT NBR 13279. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão. Rio de Janeiro. 2005b.

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

_____. ABNT NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas - Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro. 2023.

_____. ABNT NBR 13749. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro. 2013.

_____. ABNT NBR 13752: Perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro. 2024.

_____. ABNT NBR 14653-2. Avaliação de bens - Parte 2: Imóveis Urbanos. 2011.

_____. ABNT 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. 2005d.

_____. ABNT NBR 15270-1. Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro. 2023a.

_____. ABNT NBR 15270-2. Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro. 2023b.

_____. ABNT NBR 15575-1: Edificações habitacionais. Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro. 2024b.

_____. ABNT NBR 15575-4. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE). Rio de Janeiro. 2021b.

_____. ABNT NBR 16969: Ensaios não destrutivos – Termografia infravermelha – Princípios gerais. . Rio de Janeiro. 2021a.

_____. ABNT NBR 17170: Edificações - Garantias - Prazos recomendados e diretrizes. Rio de Janeiro. 2022.

_____. ABNT NBR NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos. Rio de Janeiro. 2015.

_____. ABNT NBR ISO 13006: Placas cerâmicas - Definições, classificação, características e marcação. Rio de Janeiro. 2022.

ASNT. American Society for Nondestructive Testing. Nondestructive Testing Methods. s.d. Disponível em: https://www.asnt.org/MajorSiteSections/About/Discover_Nondestructive_Testing/ND_T_Methods.aspx. Acesso em: 03 jun. 2025.

BALLESTEROS, Ramiro Daniel; LORDSLEEM JUNIOR, Alberto Casado. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 119-137, jan./mar. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100497>. Acesso em: 28 abr. 2023.

BELON, Karine. Principais manifestações patológicas ocasionadas pela umidade: uma revisão bibliográfica. In: , 2019. 4o Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (SPPC). UFPR - Grupo de Pesquisa em Patologia e Reabilitação das Construções, 2019. p. 112–123.

BRASIL. Lei No 8.078, de 11 de setembro de 1990. Código de Defesa do Consumidor (CDC). Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. . Brasília. 1990.

BRASIL. Lei Nº 13.105, de 16 de março de 2015. Código de Processo Civil (CPC). Brasília. 2015.

CALDAS, Lucas; PITTAU, Francesco; SCHAEFFER, Roberto; SARAIVA, Anna; PAIVA, Rayane; FILHO, Romildo. Concrete vs. Ceramic Blocks: Environmental Impact

Evaluation Considering a Country-Level Approach. Revista MDPI. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/world2040030>.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Agência CBIC. Deu na mídia: Fraudes em ações por vício construtivo preocupam construtoras. 2023. Disponível em: <https://cbic.org.br/deu-na-midia-fraudes-em-aco-es-por-vicio-construtivo-preocupam-construtoras/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Agência CBIC. CBIC, CAIXA e SINDUSCON-PA/FIEPA debatem impactos de ações judiciais no programa MCMV. 2025. Disponível em: <https://cbic.org.br/cbic-caixa-e-sinduscon-pa-fiepa-debatem-impactos-de-aco-es-judiciais-no-programa-mcmv/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

CARVALHO, Yuri Mariano; PINTO, Vívian Gemiliano. Umidade em edificações: conhecer para combater. ForScience. v. 6, n. 3, 2018.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCCION. Hidrofuges de surface, Bruxelles, 51 p. (Note D’information Technique – NIT n. 224 – remplace la NIT n. 140). CSTC, 2002.

COSTA, A. L.; PAES, G.; JÚNIOR, J.; MOURA, M.; VIANNA, N. Mofo e qualidade do ar interno: uma revisão narrativa sobre os efeitos na saúde. Revista Brasindoor - Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle de Qualidade de Ar de Interiores, v. 6, n. 1, p. 66–79, 2024.

CORRÊA, M. R. S. The evolution of the design and construction of masonry buildings in Brazil. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 7, n. 2, 2012.

DAFICO, L.C.M.; BARREIRA, E.; ALMEIDA, R.M.S.F.; CARASEK, H. *Comparison of Infrared Thermography and Other Traditional Techniques to Assess Moisture Content of Wall Specimens*. **Sensors** 22, 3182, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22093182>

DE FREITAS, Vasco Peixoto; GUIMARÃES, Ana Sofia. Tratamento da humidade ascensional no património histórico. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT), v. 4, p. 1–13, 2014. Disponível em: http://www.mda.cinvestav.mx/revista_alconpat.

DIAS, Debora Rodrigues Pereira; FERNANDES, Karoline Willemann; GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Análise de conformidade de laudos periciais sobre vícios construtivos do TJSP. In: , 2024, São Paulo. 3o Encontro Nacional de Patologia das Construções (ENAPAT). São Paulo. 2024. p. 1–9. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/386106531>. Acesso em: 19 abr. 2025.

EDIS, Ecem; FLORES-COLEN, Inês; DE BRITO, Jorge. Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. Construction and Building Materials, v. 51, p. 187–197, 2014.

ESQUIVEL, Juan Francisco Temoche. Avaliação do uso de revestimentos cerâmicos de fachada em edifícios residenciais multifamiliares em São Paulo: Estudo de caso região sul – 1994 1998. Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (USP) para obtenção do grau de Mestre em Estruturas Ambientais Urbanas. 2001.

FARIAS, Raissa Miranda; EVANGELISTA, Wemerton Luis. Transtornos e desconfortos ocasionados pela infiltração e umidade no centro de Pedro Leopoldo/MG. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. v. 9, 2017.

FILHO, Roberto Lopes Burity et al. Aplicação da termografia na identificação de infiltrações e tubulações para condução de água fria e água quente embutidas em alvenaria. *Research, Society and Development*. v. 10, n. 8, p. e34610817480, 2021.

FLIR. Infrared adds Detail to Building Damage Assessments. 2024. Disponível em: <https://www.flir.com/discover/instruments/building-diagnostics/infrared-adds-detail-to-building-damage-assessments/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FLIR. DarkWave Thermo relies on FLIR câmeras for Building diagnostics. 2024. Disponível em: <https://www.flir.com.br/discover/instruments/building-diagnostics/darkwave-thermo-relies-on-flir-cameras--for-building-diagnostics-in-the-city-of-milan/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FLIR. Câmera termográfica compacta. FLIR C5. 2025. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/c5/?vertical=condition+monitoring&segment=solutions>. Acesso em: 10 dez. 2025a.

FLIR. Medidor de Umidade IGM™. FLIR MR160. 2025. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/mr160/?vertical=condition+monitoring&segment=solutions>. Acesso em: 10 dez. 2025b.

FOLHA SP. Problemas em imóveis impulsionam ações contra Caixa no Minha Casa, Minha Vida. Banco pagou R\$92,4 milhões em 2024 por vícios em unidades habitacionais da faixa 1 do programa. 2025. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2025/01/problemas-em-imoveis-impulsionam-acoes-contra-caixa-no-minha-casa-minha-vida.shtml>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FOLHA SP. Restauração da fachada do Copan tem início após 12 anos. 2023. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2023/06/restauracao-da-fachada-do-copan-tem-inicio-apos-12-anos.shtml>. Acesso em: 20 abr. 2025.

FORT, R. et al. Appraisal of non-destructive in situ techniques to determine moisture- and salt crystallization-induced damage in dolostones. *Journal of Building Engineering*. v. 53, 2022.

FREIRE, Francisco Lucas de Oliveira; MESQUITA, Esequiel Fernandes Teixeira; OLIVEIRA, Luis Marcelo Gomes de. Caracterização de perfis de umidade ascensional em revestimentos argamassados tradicionais. In: , 2021, São Paulo. III Congresso Nacional para Salvaguarda do Patrimônio Cultural. São Paulo: Editora Cubo, 2021. p. 1262–1269.

GARRIDO, Ivan; LAGUELA, Susana; OTERO, R; ARIAS, P. Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: A review – Pos processing procedures. *Applied Energy* 266. 2020. 114857. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114857>.

G1. Após 12 anos de espera, reforma da fachada do Copan deve ter início neste mês e acabar até 2024. [S. l.], 2023a. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/06/15/apos-12-anos-de-espera-reforma-da-fachada-do-copan-deve-ter-inicio-neste-mes-e-acabar-ate-2024.ghtml>. Acesso em: 9 jun. 2024.

G1. Após 12 anos de espera, reforma da fachada do Copan deve ter início neste mês e acabar até 2024. 2023b. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/06/15/apos-12-anos-de-espera-reforma-da-fachada-do-copan-deve-ter-inicio-neste-mes-e-acabar-ate-2024.ghtml>. Acesso em: 20 abr. 2025.

G1. Mofo e até cogumelos tomam conta de apartamento em Mogi e moradora precisa “interditar” quarto: “Não tenho vontade de ficar dentro de casa”. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/mogi-das-cruzes-suzano/noticia/2022/08/16/mofo-e-ate-cogumelos-tomam-conta-de-apartamento-em-mogi-e-moradora-precisa-interditar-quarto-nao-tenho-vontade-de-ficar-dentro-de-casa.ghtml>. Acesso em: 20 abr. 2025.

G1. Parte da fachada de prédio desaba e atinge carros estacionados em SP. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/parte-de-fachada-de-predio-desaba-e-atinge-carros-estacionados-em-sp.ghtml>. Acesso em: 9 jun. 2024.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; GULLO, Marco Antonio; FAGUNDS NETO, Jerônimo Cabral; FLORA, Stella Marys Della. Inspeção predial total. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira et al. Manual de Engenharia Diagnóstica: Desempenho, Manifestações Patológicas e Perícias na Construção Civil. 2aed. São Paulo: Leud, 2021.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Análise de manifestações patológicas decorrentes da condensação de vapor de água em edifícios. In: , 2018, São Paulo. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (CBPAT). São Paulo. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/376889693>.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Inferência indutiva para diagnóstico de manifestações patológicas decorrentes de umidade. In: , 2023, São Paulo. 17o Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. São Paulo: Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/376266565>.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Inspeção e recebimento de obras: edificações habitacionais. 1a Ediçãoed. São Paulo: Leud, 2021.

GUOLO, E., RUGGERI, P., BISON, P., & PERON, F. IR Thermography for Non-Destructive Monitoring of Moisture in Cultural Heritage. Engineering Proceedings, 51(1), 6. 2023. <https://doi.org/10.3390/engproc2023051006>

HATTGE, Alex Fabiano. Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto. 2004. 1–136 f. - Trabalho de conclusão (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5610/000473072.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 abr. 2025.

HELENE, Paulo R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. São Paulo: Pini. 1992.

HERRMANN, T. D.; MOHAMAD, G.; LIMA, R. C. A.; NETO, A. B. S. S.; LUBECK, A. Estudo de caso do desempenho de estanqueidade à água de argamassas e hidrorrepelentes - Parte I. Revista Matéria, v. 24, n. 04, 2019.

INSTITUTO AGRONÔMICO (IAC). Boletim Agrometeorológico Nº 49. Janeiro de 2025. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes/iacboletimclimacafe49.pdf>. Acesso em: dez. 2025. Campinas. 2025a.

INSTITUTO AGRONÔMICO (IAC). Boletim Agrometeorológico Nº 56. Setembro de 2025. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes/iacboletimclimacafe56.pdf>. Acesso em: dez. 2025. Campinas. 2025b.

JANTSCH, Ana Cláudia Akele et al. Avaliação do comportamento de revestimentos em argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes. *Ambiente Construído*. v. 21, n. 1, p. 81–99, 2021.

JOFFILY, Irene de Azevedo Lima; SANTANA, Bruna Vieira; ALEIXO, Isabella Venâncio. Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas com diferentes aditivos impermeabilizantes. In: , 2018. 15o Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), 2018.

LORENZI, Alexandre; REGINATO, Luciani; FILHO, Luiz. Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. *Revista de Engenharia Civil IMED*. v. 3, 1. p. 3-13. 2016. ISSN 2358-6508. DOI: 10.18256/2358-6508/rec-imed.v3n1p3-13.

LI, Zhisheng *et al.* Thermography evaluation of defect characteristics of building envelopes in urban villages in Guangzhou, China. *Case Studies in Construction Materials*. v. 17, 2022.

LOURENÇO, Tomás; MATIAS, Luís; FARIA, Paulina. Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. *Construction and Building Materials*, v. 148, p. 419–428, 2017.

METRÓPOLES. Moradia popular entregue há 3 meses por Tarcísio tem vazamento e mofo. 2025. Disponível em: <https://www.metropoles.com/sao-paulo/moradia-lancada-tarcisio-tem-vazamento>. Acesso em 15 de dezembro de 2025.

OLIVEIRA, Wesley; ZANGUINI, Priscila; MOREIRA, Luane; PAVON, Elier. Influência do tipo de revestimento na avaliação de umidade ascensional com termografia de infravermelho. *Revista de Ciência e Tecnologia RCT*. v. 8, 2022.

PAES, I.N., BAUER, E, CARASEK, H, & PAVON, E. (2014). Influence of water transportation inside a mortar/block system on bonding resistance behavior. *Revista ingeniería de construcción*, 29(2), 175-186. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000200004>

PAIXÃO, Klaus Lübe; AMARIO, Mayara. Manifestações patológicas ocasionadas por umidade em edificações. *Revista Boletim do Gerenciamento* no 33, Rio de Janeiro, 2022.

PACHECO, C. P.; VIEIRA, Geilma Lima. Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. *Revista Cerâmica*. 2017, p. 432-445. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633682156>

PAVON, E. Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho. Tese de Doutorado, Publicação E.TD-

6A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília- DF, 250p. 2017.

PESSANHA, Diogo Florencio; ALEXANDRE, Jonas; LIMA, Jose Augusto Pedro; AZEVEDO, Afonso Rangel Garcez; ZANELATO, Euzébio. Ensaio não destrutivo em revestimento cerâmico utilizando um protótipo para detecção de patologia. *Revista Matéria*. ISSN 1517-7076. v. 24, n. 4, 2019. DOI: 10.1590/s1517-707620190004.0835.

PESCARI, Simon; BUDĂU, Laurențiu; VÎLCEANU, Clara Beatrice. Rehabilitation and restauration of the main façade of historical masonry building –Romanian National Opera Timisoara. *Case Studies in Construction Materials*. v. 18, 2023.

PEZZATO, Leila Maria. Patologias no sistema de revestimento cerâmico: um estudo de caso em fachadas. 2010. 162f. Dissertação (Mestrado) - Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-30042010-101558/publico/leila_pezzato.pdf. Acesso em: 03 jun. 2025.

RESENDE, Maurício M. et al. Infrared thermal imaging to inspect pathologies on façades of historical buildings: A case study on the Municipal Market of São Paulo, Brazil. *Case Studies in Construction Materials*. v. 16, 2022.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHES SUR LES MATERIAUX ET LES CONSTRUCTIONS. RILEM Test Method - Test No. II.4 - Revised 2015. RILEM, 2015.

ROCHA, Joaquin Humberto Aquino et al. Detecção de infiltração em áreas internas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 4, p. 329–340, 2018.

ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; SANTOS, Cynthia Firmino dos; PÓVOAS, Yêda Vieira. Evaluation of the infrared thermography technique for capillarity moisture detection in buildings. In: , 2018. XIV International Conference on Building Pathology and Constructions Repair - CINPAR. Elsevier. *Procedia Structural Integrity* 11 (2018), 2018. p. 107–113.

SALOMÃO, M. C. F. Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DT-06A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 248p. 2016.

SANTOS, Julie Anne Braun. Manifestações patológicas nas edificações: Análise de suas ocorrências em relação ao projeto de impermeabilização. In: , 2018. 15o Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), 2018.

SANTOS, Cynthia Firmino dos; ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; PÓVOAS, Yêda Vieira. Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações. *Ambiente Construído*. v. 19, n. 1, p. 105–127, 2019.

SARAIVA, Iury.; OLIVEIRA, Maria; LEITE, Guilherme; ANDRADE, Elysson. Manifestações Patológicas em Revestimentos Cerâmicos de Fachadas: Uma Revisão Bibliográfica." *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. (IOSR-JMCE), v. 18, n. 3, 2021, pp. 01-09. e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X. DOI: 10.9790/1684-1803030109.

SILVA, A. de P.; JÚNIOR, A. N. de C.; GOUVÊA, G. H. R.; VIEIRA, M. E. L. Desempenho da argamassa técnica decorativa antes e após envelhecimento acelerado em câmara de intemperismo. *Revista Matéria*, v. 26, n. 03, 2021.

TEJEDOR, Blanca et al. *Non-destructive techniques (NDT) for the diagnosis of heritage buildings: Traditional procedures and futures perspectives*. Elsevier Ltd, 2022.

THOMAZ, Ercio. *Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

TONDELO, Patricia Geittenes; BARTH, Fernando. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*. v. 10, p. e019009, 2019.

TORRES, Rui Jorge de Moraes Monteiro. *Humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos*. 2014. 1–4 f. - Instituto Técnico de Lisboa. 2014.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO RIO GRANDE DO NORTE (TJRN). Consumidor de Mossoró será indenizado após receber imóvel novo com inúmeros defeitos de construção. 2023. Disponível em: <https://tjrn.jus.br/noticias/21909-consumidor-de-mossoro-sera-indenizado-apos-receber-imovel-novo-com-inumeros-defeitos-de-construcao>. Acesso em: 03 jun. 2025.

WONG, Chung Wan. *Applications of Non-destructive Tests for Diagnosis of Heritage Buildings: Case Studies from Singapore and Malaysia*. Singapore. 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. Copenhagen, Denmark, 2009.

APÊNDICE

1.1. Temperatura aparente refletida (TAR)

Para determinação da temperatura aparente refletida, seguiu-se o procedimento descrito no item C.2.1 da NBR 16969 (ABNT, 2021), pelo procedimento do refletor. Uma folha de papel-alumínio com dimensões aproximadas de 20 x 20 cm foi amassada e depois estendida. A folha foi colada em um pedaço de papelão para garantir maior rigidez e evitar que o material rasgasse com maior facilidade.

Inicialmente, a câmera termográfica utilizada foi configurada com emissividade igual a 1 e distância para 0 (zero). A câmera foi posicionada na mesma orientação e distância que seria adotada na medição da temperatura da superfície do objeto de interesse. Em seguida, a lente foi direcionada ao objeto e ajustado o foco na área onde se pretendia obter a temperatura aparente refletida.

Utilizou-se um refletor infravermelho improvisado, confeccionado com papel-alumínio previamente amassado, estendido e fixado sobre um pedaço de papelão, com a face brilhante voltada para fora. Este refletor foi posicionado em frente e paralelo ao objeto (Figura 69).

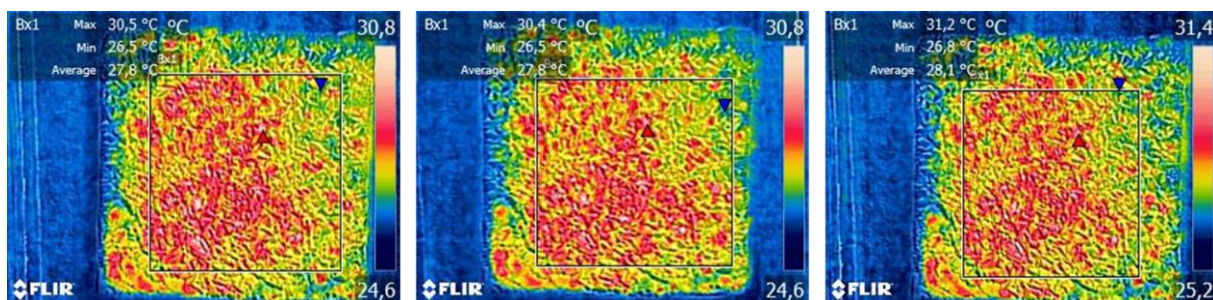
Sem alterar a posição da câmera, foram realizados três termogramas do refletor, sendo a média aritmética desses valores considerada como a TAR. A média das temperaturas obtidas nos três termogramas foi de $27,9^{\circ}\text{C} \approx 28^{\circ}\text{C}$ (Figura 70). Por fim, o valor de TAR obtido foi inserido no campo correspondente à temperatura aparente refletida no *software Flir Tools*, para fins de correção das demais leituras.

Figura 69 – Posicionamento do refletor em frente ao protótipo no local do ensaio



Fonte: Autor.

Figura 70 – Termogramas com indicação das temperaturas médias, de forma que a TAR foi de $27,9^{\circ}\text{C} \approx 28^{\circ}\text{C}$



Fonte: Autor.

1.2. Emissividade

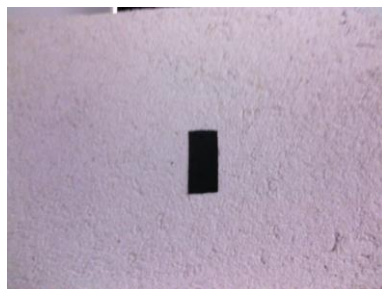
Para a determinação da emissividade da superfície avaliada, adotou-se o procedimento da emissividade conhecida, conforme item B.2.4 da NBR 16969 (ABNT, 2021). O método exige o uso de um material com emissividade previamente conhecida, sendo recomendada a utilização de fitas de alta emissividade ($\epsilon > 0,9$), garantindo maior precisão nos resultados. Por esse motivo, assim como foi feito no estudo de Andrade (2020), foi utilizada fita isolante 3M Scotch 33+ cuja emissividade de 0,9 corresponde ao maior valor comercialmente encontrado e disponível.

Inicialmente, a câmera termográfica foi posicionada a uma distância adequada da superfície do objeto, obedecendo aos critérios descritos no Anexo C da norma. Inseriu-se na câmera o valor da temperatura aparente refletida, obtida previamente conforme o procedimento descrito no item C.2.1 da mesma norma, conforme foi indicado anteriormente neste apêndice.

Em seguida, aplicou-se a fita isolante elétrica preta fosca sobre a superfície do objeto, assegurando que o material estivesse limpo, seco e em contato firme com a superfície (Figura 71). A fita foi mantida por alguns minutos para que houvesse estabilização da temperatura. Com a emissividade do material informada no sistema da câmera termográfica foi realizado o termograma.

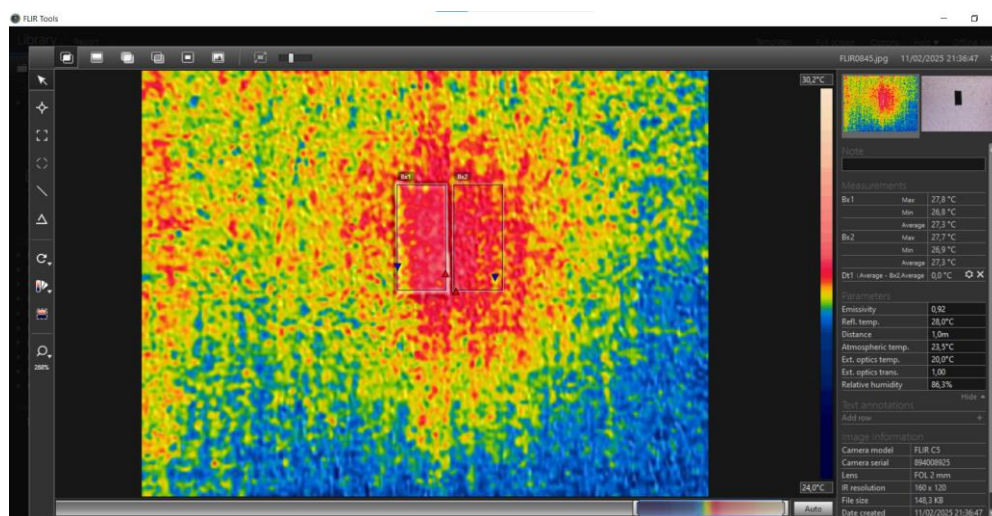
Por meio do *software FlirTools* realizou-se a medição da temperatura média da área da superfície de referência correspondente a área da fita isolante e uma área idêntica ela logo ao lado. O valor da emissividade do objeto foi ajustado na interface do software até que a leitura da temperatura média do material de referência coincidissem com a temperatura medida (Figura 72). A emissividade adotada foi de 0,92.

Figura 71 – Registro fotográfico da fita isolante aplicada na superfície do protótipo



Fonte: Autor.

Figura 72 – Interface *software* *FlirTools* para ajuste da emissividade



Fonte: Autor.