

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo



Dissertação

**POTENCIALIDADE DA TERMOGRAFIA NA DETECÇÃO
DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ASSOCIADAS À
UMIDADE ACIDENTAL**

Fernando Wulff Al Alam

Pelotas, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

DISSERTAÇÃO



**POTENCIALIDADE DA TERMOGRAFIA NA DETECÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS ASSOCIADAS À UMIDADE ACIDENTAL**

Fernando Wulff Al Alam

Pelotas, 2016

FERNANDO WULFF AL ALAM

**POTENCIALIDADE DA TERMOGRAFIA NA DETECÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS ASSOCIADAS À UMIDADE ACIDENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial à para obtenção do título
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Profa. Ariela da Silva Torres, Dra.

Co-orientador: Prof. Charlei Marcelo Paliga, Dr.

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

A316p AIAlam, Fernando
Wulff

Potencialidade da termografia na detecção de manifestações patológicas associadas à umidade accidental / Fernando Wulff AIAlam ; Ariela da Silva Torres, orientadora ; Charlei Marcelo Paliga, coorientador. — Pelotas, 2016.

144 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Termografia. 2. Umidade accidental. 3. Manifestações patológicas. I. Torres, Ariela da Silva, orient. II. Paliga, Charlei Marcelo, coorient. III. Título.

CDD : 720

Fernando Wulff Al Alam

**POTENCIALIDADE DA TERMOGRAFIA NA DETECÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS ASSOCIADAS À UMIDADE ACIDENTAL**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

13 de maio de 2016.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Ariela da Silva Torres (Orientadora)
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Charlei Marcelo Paliga (Co-orientador)
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Rosilena Martins Peres
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Isabel Tourinho Salamoni
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Dra. Estela Oliari Garcez
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha avó
Annita (*in memoriam*) e minha mãe
Luise por serem os meus exemplos
de que o estudo é o maior recurso do
homem que deseja romper as
barreiras da sociedade.

Agradecimentos

Aos meus amigos e professores Ariela Torres (orientadora) e Charlei Paliga (co-orientador), pelo conhecimento e pela responsabilidade com que encararam o desafio de orientar este trabalho. A caminhada teria sido insustentável se minhas orientações não tivessem sido pautadas sempre pela amizade e carinho de vocês.

Ao LABCEE-UFPel, nas pessoas dos meus amigos Antonio César Baptista da Silva, Eduardo Grala e Liader Oliveira, pela disponibilização do equipamento durante todo tempo que me foi necessário.

À CAPES pelo incentivo através de bolsa de estudo.

Aos colegas mestrandos e bolsistas do grupo NEPAMAT pela colaboração em todas as fases desta dissertação.

Ao meu pai Fábio, por mostrar-me que, independente do que aconteça, devemos viver para sermos lembrados não só como grandes profissionais, mas sim como grandes pessoas.

À minha mãe Luise, por ser a prova viva de que não há limites para os nossos sonhos quando sonhados com o coração e batalhados com honestidade e fé.

Ao meu irmão Henrique, por se fazer presente aos pais na minha ausência decorrente deste trabalho, por existir, por ser o meu melhor amigo e por almejar o mundo, ele precisa de ti e da tua genialidade.

À minha namorada Manoela, por ser o meu porto seguro, fonte de inspiração e o exemplo vivo de que somos do tamanho dos nossos sonhos, independente do que aconteça e do que a vida nos ofereça.

Às minhas avós Iony e Maria de Lourdes por terem financiado meus estudos básicos acreditando no meu potencial.

Ao meu amigo Filipe Vieira, pela amizade e por suprir com excelência a minha ausência profissional decorrente da dedicação cedida a este trabalho.

E, por fim, muito obrigado a quase todos os professores que tive. Eu trabalho para, um dia, ser tão inspirador para alguém como vocês são para mim.

“Que Deus perdoe essas pessoas ruins”

Adriano Leite Ribeiro

Resumo

AL ALAM, Fernando Wulff. **Potencialidade da termografia na detecção de manifestações patológicas associadas à umidade acidental.** 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas.

Nos últimos anos, a incidência de manifestações patológicas nas edificações tem aumentado significativamente, seja pela economia na qualidade dos materiais empregados, pelos erros de projeto ou na gradativa falta de treinamento da mão de obra. Com o aumento do surgimento destes problemas patológicos, vem se tornando indispensável o conhecimento acerca da ciência da Patologia das Construções para qualquer profissional ligado à área da construção civil no Brasil e no mundo. Alguns autores afirmam que o simples levantamento visual e fotográfico pode não ser suficiente para um bom diagnóstico em Patologia das Construções, fazendo-se necessário o aprofundamento em outras metodologias. Salienta-se, então, os métodos não destrutivos, os quais têm ganhado espaço nas pesquisas nacionais e internacionais pela sua principal característica de não agredir a estrutura no seu uso. Sendo assim, o objetivo geral desta pesquisa é verificar as potencialidades da termografia na detecção de manifestações patológicas associadas à umidade acidental. Neste estudo foram realizados experimentos em protótipos de alvenaria e concreto, submetidos a infiltrações, com auxílio da termografia. Com base nos dados coletados foi possível perceber que a termografia apresenta-se como um método eficaz na detecção das manifestações patológicas associadas à umidade acidental. Utilizando o método para o monitoramento e diagnóstico, é possível perceber problemas patológicos antes de seu surgimento, os quais em alguns casos podem se apresentar de forma irreparável quando identificados tardiamente.

Palavras-chave: termografia, umidade acidental, manifestações patológicas.

Abstract

AL ALAM, Fernando Wulff. Thermography potential in pathological manifestations detection accidental moisture associated. 2016. Thesis (Masters' in Architecture and Urban Planning) – Graduate Program in Architecture and Urban Planning, UFPel, Pelotas.

The incidence of pathological manifestations in buildings has increased significantly, in recent years either by low quality of the materials, design errors or gradual lack of working force training. With the increase of these problems. It becomes essential to any professional involved in the building construction in Brazil to understand construction pathology concepts and science. In some cases, a simple visual and photographic survey may not be enough for a good diagnosis of Construction Pathology, making it necessary to use other methodologies. The use of non-destructive methods, which has increased both in national and international research. Due to the main feature of not damaging the structure. Among the non-destructive methods, thermography, ultrasound, rebound hammer can be used. The objective of this research is to investigate the thermal imaging capabilities in the detection of pathological manifestations associated with accidental moisture. This study experiments in masonry and concrete prototypes subjected to water with the use of thermography. Results have shown that thermography is presented as an effective method for the detection of pathological manifestations associated with accidental moisture. Using the method for monitoring and diagnosis, it is possible to anticipate the emergence of pathological problems, which in some cases may present irreversibly when identified late.

Keywords: thermography, accidental moisture, pathological manifestations.

Lista de Figuras

Figura 1 - Delineamento da pesquisa.....	21
Figura 2 - Metodologia para resolução dos problemas patológicos.	23
Figura 3 - Problemas patológicos.....	25
Figura 4 - Manchas de umidade originadas pela ausência de pingadeira.....	32
Figura 5 - Umidade do solo.	33
Figura 6 - Forro com manchas de umidade por infiltração.	34
Figura 7 - Umidade acidental.	35
Figura 8 - Aspecto da textura de colônia de fungos.	36
Figura 9 - Descolamento com empolamento.....	37
Figura 10 - Imagem termográfica da fachada de uma residência.	41
Figura 11 – (a) Impulso de calor aplicado à superfície. (b) Impulso viajando dentro do material. (c) O defeito encontrado reflete e transmite o pulso parcial.	43
Figura 12 - Espectro eletromagnético.	45
Figura 13 - Câmera utilizada no estudo: Testo 875-2.	51
Figura 14 - Estudo piloto.	53
Figura 15 – (a) Fotografia a 10 metros. (b) Fotografia a 5 metros. (c) Fotografia a 3 metros de distância da residência analisada.....	53
Figura 16 – (a) Fotografia a 90°. (b) Fotografia a 45°. (c) Fotografia a 30° de angulação da residência analisada.	55
Figura 17 - (a) Bloco cerâmico. (b) Bloco de concreto.	56
Figura 18 - Curva granulométrica da areia.	59
Figura 19 – Curva granulométrica da brita utilizada.	60
Figura 20 - preparação da tubulação para simular vazamento.	62
Figura 21 - Teste dos furos feitos na canalização.	62
Figura 22 – (a) Protótipo 1. (b) Protótipo 2.	64
Figura 23 – (a) Protótipo 3. (b) Protótipo 4.	64
Figura 24 - Protótipo 5.....	65
Figura 25 – (a) Assentamento dos tijolos. (b) Chapisco dos modelos.....	65
Figura 26 – (a) Reboco dos modelos. (b) Pintura.....	66
Figura 27 – (a) Forma para parede de concreto. (b) Parede acabada.	67
Figura 28 - Protótipo de laje sendo concretada.....	67

Figura 29 - Concretagem do protótipo.....	68
Figura 30 – Ilustração esquemática do protótipo de laje.	68
Figura 31 – (a) Inserção de água no protótipo horizontal. (b) Inserção de água no protótipo de parede.	70
Figura 32 - Imagem e termograma da fachada a 10m.	73
Figura 33 - Imagem e termograma da fachada a 5m.	73
Figura 34 - Imagem e termograma da fachada a 3m.	74
Figura 35 - Imagem e termograma com angulação de 90°.	75
Figura 36 - Imagem e termograma com angulação de 45°.	75
Figura 37 - Imagem e termograma com angulação de 30°.	76
Figura 38 – Imagem térmica de um corpo cerâmico com variação de emissividade: (a) 0,62 e (b) 0,85.....	77
Figura 39 - Imagem térmica de um corpo cerâmico com variação de emissividade: (a) 0,91 e (b) 0,95.....	77
Figura 40 - Imagem térmica de um corpo de concreto com variação de emissividade: (a) 0,62 e (b) 0,85.....	77
Figura 41 - Imagem térmica de um corpo de concreto com variação de emissividade: (a) 0,91 e (b) 0,95.....	78
Figura 42 - Protótipo 1 seco.	79
Figura 43 - Protótipo 1 com 10min de exposição à água.	80
Figura 44 - Protótipo 1 com 40min de exposição à água.	80
Figura 45 - Protótipo 1 com 60min de exposição à água.	81
Figura 46 - Protótipo 2 seco.	84
Figura 47 - Protótipo 3 seco.	88
Figura 48 - Protótipo 3 com 10min de exposição à água.	88
Figura 49 - Protótipo 4 seco.	92
Figura 50 - Protótipo 5 seco.	96
Figura 51 - Protótipo 5 com 10min de exposição à água.	97
Figura 52 – Protótipo horizontal seco (vista inferior).	100
Figura 53 - Índice de manchas de umidade.	105
Figura 54 - Média de temperatura superficial úmida e seca dos protótipos.	107
Figura 55 - Relação da temperatura ambiente com a variação de temperatura superficial dos protótipos.....	108

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tipos de fissuras e suas características.....	26
Tabela 2 - Tipos de descolamentos e suas características.	28
Tabela 3 - Linha histórica da termografia.	42
Tabela 4 - Emissividade de alguns materiais.	46
Tabela 5 – Características químicas e físicas do Cimento Portland pozolânico CP IV-32.	57
Tabela 6 - Características químicas e físicas da cal hidratada CH III.	58
Tabela 7 - Normas utilizadas para execução dos ensaios de caracterização dos agregados.	58
Tabela 8 – Caracterização do agregado miúdo (areia).	59
Tabela 9 - Caracterização do agregado graúdo (brita).....	60
Tabela 10 - Dimensão dos tijolos.	61
Tabela 11 - Traços utilizados.	63
Tabela 12 - Protótipos construídos.....	64
Tabela 13 - Cronograma de medições.	69
Tabela 14 - Temperaturas registradas com a Câmera Termográfica.....	78
Tabela 15 - Leituras do protótipo 1 em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas.	82
Tabela 16 - Leituras do protótipo 2 na primeira hora.....	84
Tabela 17 - Leituras do protótipo 2 em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas.	86
Tabela 18 - Leituras do protótipo 3 em 20, 30, 40, 50 e 60 minutos.	89
Tabela 19 - Leituras do protótipo 3 em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas.	90
Tabela 20 - Leituras do protótipo 4 na primeira hora.....	93
Tabela 21 - Leituras do protótipo 4 em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas.	94
Tabela 22 - Leituras do protótipo 5 em 20, 30, 40, 50 e 60 minutos.	97
Tabela 23 - Resultados preliminares dos protótipos verticais.	99
Tabela 24 - Leituras do protótipo de cobertura na primeira hora (vistas inferiores).101	
Tabela 25 – Leituras do protótipo de cobertura em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas (vistas inferiores).....	102

Sumário

1. Introdução	13
1.1. Proposta de investigação	19
1.1.1. Objetivos.....	19
1.1.2. Hipóteses.....	20
1.2. Delimitações da pesquisa	20
1.3. Estrutura da dissertação	21
2. Revisão bibliográfica.....	22
2.1. Manifestações patológicas	22
2.1.1 Fissuras e trincas.....	25
2.1.2 Descolamentos do revestimento.....	27
2.1.3. Umidade	29
2.1.3.1. Mecanismos de transporte de umidade nos materiais	30
2.1.3.2. Elementos causadores de umidade	31
2.1.3.3 Manifestações patológicas oriundas de umidades	36
2.2 Métodos de ensaios não destrutivos	38
2.2.1 Método da esclerometria	39
2.2.2 Método do ultrassom	40
2.2.3 Método da termografia.....	41
2.2.3.1 Sistema de imageamento termográfico	44
2.3 Estado da arte sobre o tema da pesquisa.....	46
3. Metodologia.....	51
3.1. Equipamento	51
3.1. Estudo Piloto	52
3.1.1. Distância da câmera termográfica em relação à superfície	52
3.1.2 Angulação do aparelho.....	54
3.1.3 Emissividade do material.....	55
3.2 Objetos de estudo	56
3.2.1 Caracterização dos materiais utilizados	57

3.2.2	Tipos de protótipos	63
3.2.3	Avaliação dos protótipos.....	69
3.2.4	Indicadores do experimento	71
4.	Resultados e discussões	72
4.1.	Resultados do estudo piloto	72
4.1.1.	Parâmetro 1: distância da câmera ao objeto	72
4.1.2.	Parâmetro 2: angulação do equipamento em relação à superfície.....	74
4.1.3.	Parâmetro 3: emissividade do material.....	76
4.2.	Resultados dos protótipos.....	79
4.2.1.	Protótipo 1	79
4.2.2.	Protótipo 2	83
4.2.3.	Protótipo 3	87
4.2.4.	Protótipo 4	91
4.2.5.	Protótipo 5	96
4.2.6.	Conclusões preliminares nos protótipos verticais	99
4.2.7.	Protótipo horizontal – laje	99
4.2.8.	Índices de manchas nas paredes (m ² /m ²)	104
4.2.9.	Relação da temperatura ambiente com a variação de temperatura superficial dos protótipos	106
5.	Conclusões	109
5.1.	Sugestão de trabalhos futuros	111
	Referências bibliográficas.....	112
	Apêndice A – Resultados da termografia	120
	Anexo A – Ensaio de laboratório dos tijolos cerâmicos utilizados	138
	Anexo B – Características do equipamento: câmera termográfica Testo 875-2	143

1. Introdução

A partir da metade do século XX, os processos construtivos sofreram diversas alterações. A máxima economia tornou-se obsessão pelos construtores e as obras começaram a ser conduzidas com velocidade cada vez maior e, como consequência, ocorreu a redução do controle de qualidade. Esta falta de controle aumenta a probabilidade de ocorrência de problemas nas edificações e, por isso, o conhecimento sobre Patologia torna-se indispensável para qualquer profissional da construção civil (TERRA, 2001).

O termo Patologia, vindo dos dicionários, é a parte da Medicina que estuda as doenças. Assim como o corpo humano, as edificações também apresentam doenças – chamadas manifestações patológicas – como fissuras, manchas, descolamentos, rupturas, deformações, etc. Por isso convencionou-se intitular de Patologia das Edificações o estudo destes efeitos (HELENE, 1988; VERÇOZA, 1991; PERES, 2001).

O estudo aprofundado de manifestações patológicas, levando em consideração suas características, causas e origens, permite que sejam desenvolvidos trabalhos de recuperação e manutenção destes problemas e contribui para o desenvolvimento de cada uma das etapas que engloba este processo. O domínio das etapas deste campo de estudo permite que a adoção de medidas preventivas acerca de problemas patológicos seja maior e mais assertiva (IOSHIMOTO, 1988).

Silva (1996) afirma que o conhecimento das causas e consequências das manifestações patológicas são de extrema importância para o desenvolvimento de processos que tem como objetivo a redução de falhas, fazendo-se importante – de forma geral – para a melhoria da qualidade das edificações.

Andrade e Dal Molin (1997, p.2), afirmam:

[...] importantes pesquisadores e instituições de nível mundial tem desenvolvido grande esforço na execução de levantamento de dados em

vários tipos de edificações, pois a catalogação e análise de ocorrências consistem em um ponto de partida para qualquer investigação dessa área.

Um dos primeiros autores do país no estudo da Patologia das Construções foi Lichtenstein, o qual propôs, no ano de 1986, um método de análise das manifestações patológicas, muito utilizado até os dias de hoje. A metodologia consiste em uma espécie de passo a passo para o diagnóstico. Dentre as etapas do processo, pode-se citar a utilização dos sentidos humanos e instrumentos, informações orais e formais e pesquisa bibliográfica. Esta metodologia de análise é bastante utilizada, pois não depende de nenhum equipamento especial para sua execução, apenas uma câmera fotográfica e conhecimento técnico sobre o tema, além de ser capaz de identificar grande parte das manifestações patológicas que se apresentam nas edificações.

Alguns dos problemas do diagnóstico visual de manifestações patológicas referem-se ao estágio avançado e, em alguns casos, irreversível da situação das anomalias no momento da avaliação.

Cortizo (2007) afirma que a identificação visual das manifestações patológicas restringe as alternativas de correção e de minimização do problema, pois algumas anomalias estão presentes de forma latente na edificação. Logo, a necessidade de apoio através de métodos de pesquisa mais ágeis e completos faz-se imprescindível para o aprofundamento e aumento da assertividade dos estudos da Patologia das Construções a fim de garantir o sucesso ou a minimização do insucesso no diagnóstico.

Atualmente, existem métodos que não danificam os elementos da construção ao serem aplicados, os chamados métodos não destrutivos. Estes métodos não necessitam extração de testemunhos ou qualquer outra danificação aos elementos construtivos e utilizam equipamentos com tecnologia para avaliar características das superfícies analisadas não visíveis ao olho humano.

Dentre os métodos não destrutivos pode-se citar a esclerometria, o ultrassom e a termografia. Mesmo em níveis diferentes de desenvolvimento no Brasil e no exterior, os três métodos citados são os mais utilizados neste campo de estudo visto que são os únicos que possuem material bibliográfico e pesquisas anteriores teóricas e de aplicação prática na Patologia das Construções.

Silva (2012) classifica o método da termografia como uma técnica simples e rápida de análise não destrutiva. Através da câmera termográfica é possível detectar

diversos problemas como defeitos em isolamentos térmicos, fugas de ar, condições de funcionamento de equipamento de difícil acesso e umidade por infiltrações ou fugas de água.

Já foram desenvolvidas diversas pesquisas baseadas no levantamento visual e fotográfico, na anamnese e em pesquisas bibliográficas na área, como o de Segat (2005), Silva (2007), dentre outros, mas o estudo específico de métodos destrutivos ou não, não possuem a mesma quantidade, porém pode-se citar alguns como: Silva Filho et al. (2015), Sahuinco (2011), Bungey e Millard (2006), Lorenzi et al. (2003), Silva (2012), dentre outros que foram utilizados como base para esta dissertação. E na área da termografia existe um número menor de trabalhos, tais como Cortizo (2007), Freitas et al. (2014) e Moresco et al. (2015).

Pelo fato da câmera termográfica ser um equipamento pouco comum, as dificuldades para aplicação do método podem estar vinculadas à sua utilização devido a quantidade de parâmetros a serem regulados antes do imageamento. Por isso, os primeiros estudos acerca do tema correspondem ao entendimento de cada parâmetro e sua correta regulagem para aplicação no campo da Patologia das Construções (HART, 1991; GAUSSORGUES, 1999; CORTIZO, 2007; BARREIRA et al., 2012).

A termografia tem grande valia para a detecção de problemas ocultos, ou seja, problemas que não podem ser percebidos apenas com análise visual. Dentre as causas de manifestações patológicas destacam-se as umidades ocasionadas por vazamentos de tubulações – chamadas umidades acidentais, que provocam um sério dano e, através de uma metodologia que possibilite o monitoramento do comportamento das canalizações prediais, poderiam ser identificadas antes mesmo de manifestarem-se causando anomalias nos revestimentos.

Levando em consideração as colocações feitas, é pertinente que sejam aprofundados os estudos no método da termografia a fim de viabilizar os potenciais do mesmo. Para realização deste estudo, fez-se necessário o uso de protótipos de alvenarias e concretos, com intuito de se aproximar ao máximo de situações reais de manifestações patológicas.

Carneiro (1996) afirma que os protótipos devem se caracterizar por apresentar um comportamento semelhante à estrutura real em todas suas fases, condição geométrica, material constituinte, dentre outras variáveis. Veenendaal e Block (2014) afirmam que esta metodologia de estudo se justifica pelo fato do

investimento em material para construção ser menor, a viabilidade de execução ser maior em relação à estrutura real e também que as medições necessárias são mais viáveis de serem feitas.

Neste sentido, o problema desta pesquisa centra-se no fato de que é gradativa a incidência de manifestações patológicas nas edificações e no anseio de viabilizar a utilização do método da termografia para a detecção de problemas patológicos oriundos de umidade acidental ocultos ou não.

1.1. Proposta de investigação

A partir do já exposto definiu-se o objetivo geral, os objetivos específicos e as hipóteses do trabalho.

1.1.1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a potencialidade do uso da termografia no surgimento de manifestações patológicas associadas à umidade acidental nas edificações.

A partir do objetivo geral, enumeram-se alguns objetivos específicos:

- a) Identificar os problemas causados pela umidade acidental nas edificações e metodologias de avaliação e detecção destes problemas;
- b) Realizar procedimentos para avaliação de construções, através da termografia, que determinem o local de origem das manifestações patológicas em protótipos de paredes de alvenaria cerâmica e concreto e laje de concreto;
- c) Comparar imagens fotográficas e termográficas a fim de avaliar manifestações patológicas ocultas;
- d) Verificar a existência de relação entre a dimensão de possíveis manchas de umidade e o tempo em que os protótipos foram submetidos à infiltração.

1.1.2. Hipóteses

De acordo com os fatores já relatados, a dissertação apresenta as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: a utilização da termografia possibilita a identificação das manifestações patológicas encontradas associadas à umidade acidental.

Hipótese 2: a termografia possibilita a descoberta de anomalias ocultas (associadas) provenientes da umidade, ou seja, problemas que ainda não foram percebidas.

1.2. Delimitações da pesquisa

Este trabalho apresenta as seguintes delimitações:

- a) O escopo da pesquisa limita-se às manifestações patológicas oriundas de umidade acidental nas edificações;
- b) Os testes foram realizados em protótipos de concreto e alvenaria, uma vez que estes dois elementos, na prática, respondem pela maioria das construções civis da região, necessitando serem realizados em outros tipos de materiais;

Para que os objetivos fossem cumpridos, as hipóteses testadas e facilitar a compreensão do trabalho, o mesmo foi estruturado da maneira que segue (Figura 1).



Figura 1 - Delineamento da pesquisa.

1.3. Estrutura da dissertação

O capítulo 1 traz o tema da pesquisa, sua relevância e justificativa, seus objetivos e hipóteses, delimitações, delineamento e o problema da pesquisa.

O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica, onde situa-se a base teórica utilizada para o desenvolvimento da dissertação.

O capítulo três apresenta a metodologia utilizada neste trabalho, e as formas de análise dos dados obtidos.

O quarto capítulo traz os resultados do estudo tanto da fase exploratória, como da fase de desenvolvimento, análise e discussão.

No capítulo cinco são apresentadas as conclusões, sintetizando as contribuições do trabalho, bem como são recomendadas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados ao tema estudado.

E por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração deste trabalho.

2. Revisão bibliográfica

Com o intuito de contextualizar o tema proposto, se fez necessário um estudo aprofundado sobre manifestações patológicas nas edificações. Também será dissertado sobre o uso de métodos não destrutivos com ênfase para a utilização da termografia, finalizando com o estado da arte dos principais temas.

2.1. Manifestações patológicas

Arquitetos, engenheiros, profissionais do ramo da construção civil e o poder público estão, cada vez mais, preocupados com o surgimento de manifestações patológicas nas edificações. No entanto, a maioria das construtoras e incorporadoras atuantes tem como prioridade o retorno financeiro dos investimentos, preocupando-se secundariamente com a qualidade final da construção.

De acordo com Peres (2001, p.21),

O termo Patologia é empregado na Construção pela definição da Medicina que se apropria muito bem às obras [...]. A primeira denominada *Patologia das Construções* é a ciência que estuda e identifica as origens, as causas, mecanismos de ocorrências, manifestações e consequências das situações em que os edifícios ou suas partes deixam de apresentar um desempenho mínimo estabelecido. A segunda, *Terapia das Construções*, é a ciência que trata dos problemas apresentados na construção.

Helene (1988) ainda define com mais detalhes os dois termos utilizados neste campo de pesquisa. “Patologia pode ser entendida como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema”, enquanto que “Terapia estuda a correção e a solução desses problemas patológicos”

O estudo, tanto da Patologia quanto da Terapia das Construções, pode ser entendido como parte do processo como um todo: da concepção arquitetônica na fase de projeto até a utilização do prédio, passando por todas fases de construção. Isso porque as manifestações patológicas não ocorrem apenas por falhas de execução e/ou utilização de materiais inadequados ou de baixa qualidade, mas também por erros na concepção da tipologia arquitetônica relacionada aos diversos fatores da arquitetura como posição solar, comportamento do solo, uso inadequado da edificação e outras variáveis que devem ser lembradas na fase de projeto.

Lichtenstein (1986), como já mencionado, foi um dos primeiros autores nacionais a propor uma metodologia semelhante a um passo-a-passo para o diagnóstico de manifestações patológicas, ilustrado na figura 2.

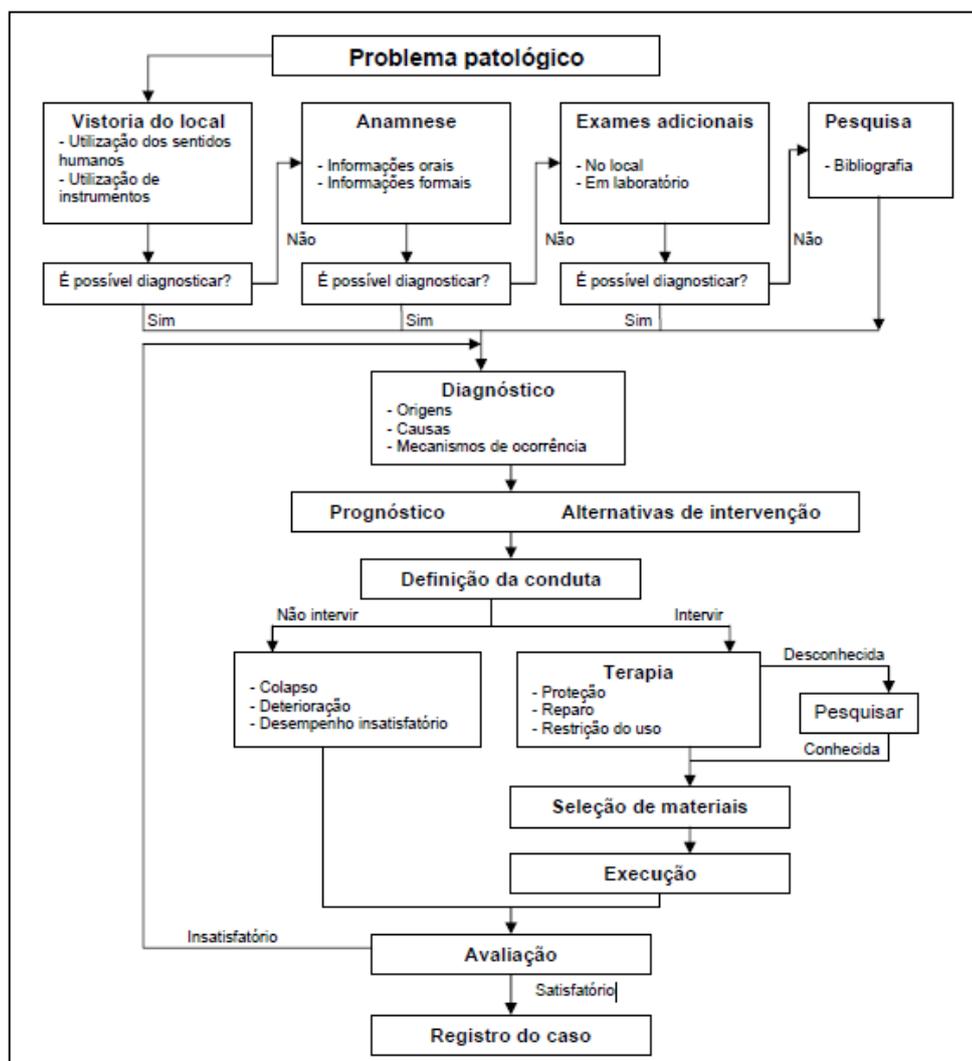


Figura 2 - Metodologia para resolução dos problemas patológicos.

Fonte: LICHTENSTEIN, 1986.

Após realizados os passos sugeridos, o diagnóstico dos problemas patológicos desenvolve-se em outras etapas, tais como: prognóstico, alternativas de intervenção, definição de conduta, intervenção, avaliação e, em caso satisfatório, registro do caso. Em o resultado não sendo satisfatório, o método propõe o retorno aos primeiros passos para o enriquecimento de informações.

Para que se obtenha um diagnóstico confiável de manifestações patológicas em edificações, é de extrema importância que seja conhecido, primeiramente, o fenômeno que desencadeou a anomalia, defende Helene (1993). O autor ainda afirma que a causa das manifestações patológicas está relacionada a diversos fenômenos como cargas excessivas, variação de umidade, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos, entre outros.

Azevedo e Guerra (2009) explicam que os conceitos relacionados a origem e causa das manifestações patológicas são frequentemente empregados de forma equivocada. Os autores apresentam a diferença de causa e origem da seguinte maneira: um objeto de estudo apresentou descolamento e empolamento do revestimento atingindo a camada de reboco como principal sintoma e a causa da anomalia foi a infiltração de água – agente causadora da alteração química dos materiais. Com o conhecimento da causa (infiltração de água) foi estabelecido o diagnóstico: esta água adentrou a edificação através de trincas externas sujeitas a intempéries, causou hidratação dos óxidos na cal – a qual não foi devidamente hidratada – portanto, a origem desta manifestação patológica foi falha na execução do elemento construtivo.

Baseado em Peres (2001), observa-se que as manifestações patológicas podem ser classificadas em três grandes grupos: fissuras/trincas, descolamento do revestimento e umidade. Bauer (1997) ainda classifica mais um grupo: as sujidades. O autor afirma que nas grandes e médias cidades os revestimentos de fachada são afetados pelo pó, fuligem, dentre outras partículas contaminantes. Em alguns casos estas sujidades podem ser removidas por uma simples varredura e, em outros mais críticos, serem os agentes responsáveis por desencadear a proliferação de micro-organismos – elementos causadores de outras manifestações patológicas (GUERRA, 2012).

Dal Molin (1988) realizou um estudo, no estado do Rio Grande do Sul, para identificação das causas das manifestações patológicas em diversas fachadas, afim

de classificá-las em grandes grupos para o desenvolvimento de novas e mais profundas pesquisas. A autora constatou um grande número de incidências relativas à fissuração, seguido de umidade e descolamentos, como se pode observar na figura 3.

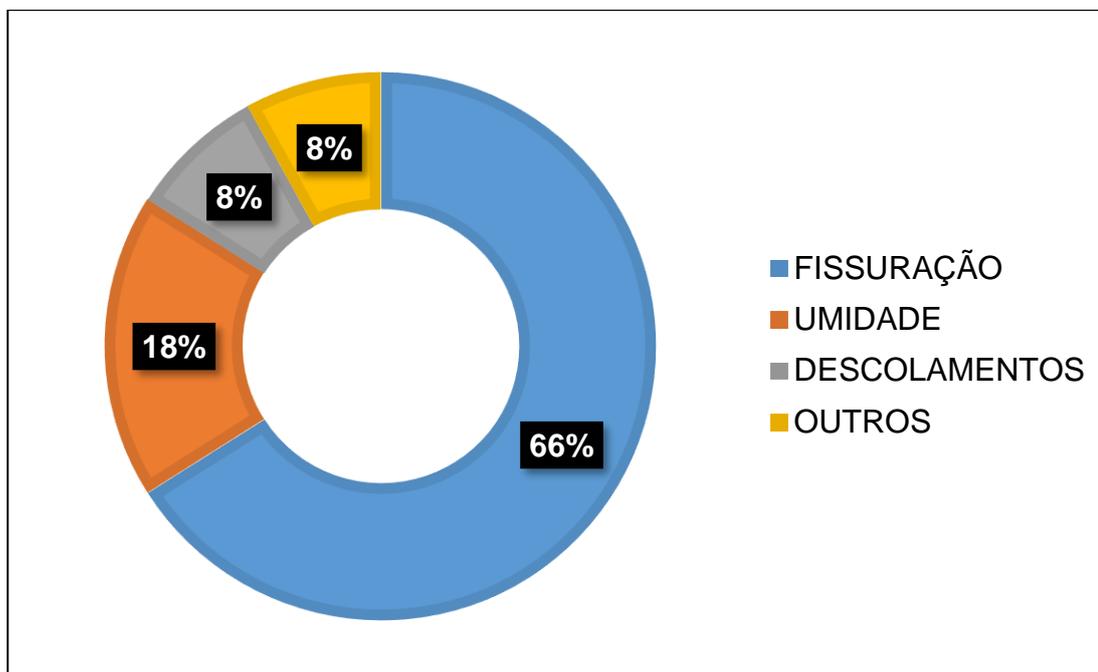


Figura 3 - Problemas patológicos.

Fonte: DAL MOLIN, 1988.

2.1.1 Fissuras e trincas

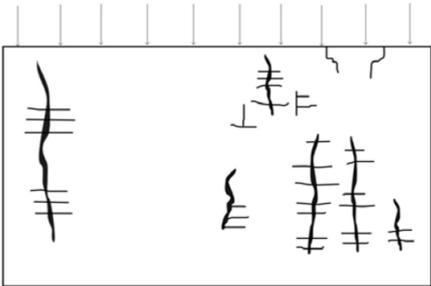
Sabbatini e Barros (1990) definem fissuras como aberturas com menos de 0,5mm de espessura e trincas aquelas que possuem medidas iguais ou superiores aos mesmos 0,5mm. Não há um consenso na classificação intermediária das fissuras. Ribas (2002), por exemplo, trabalha com mais uma categoria: as microfissuras, sendo aberturas inferiores a 0,2mm; as fissuras, de aberturas compreendidas entre 0,2mm e 2mm; e as gretas, caracterizadas por apresentarem aberturas maiores de 2mm.

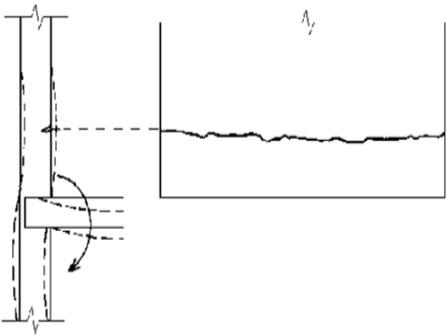
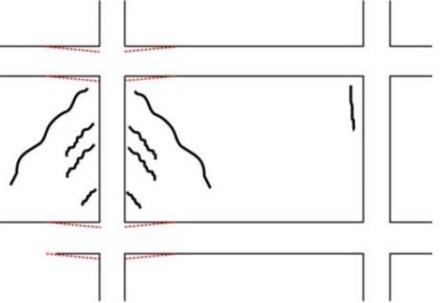
Thomaz (1992) destaca as trincas e fissuras como o tipo mais importante de anomalia devido a três aspectos: o aviso de algum problema sério na estrutura, o

comprometimento do desempenho da obra em serviço e o constrangimento psicológico que a fissuração exerce nos usuários, principalmente nos leigos, onde uma simples abertura do reboco pode transmitir a sensação do colapso imediato da edificação.

Segundo Argiles e Garcia (1999) as causas mais frequentes para o surgimento desta manifestação patológica são: movimentações térmicas, higroscópicas, atuação de sobrecargas, deformação da estrutura, recalques de fundação e hidratação das cales. A tabela 1 exemplifica estes tipos.

Tabela 1 - Tipos de fissuras e suas características.

Tipo fissura	Característica	Exemplo
Fissuras causadas por movimentações térmicas	A diferença de coloração das fachadas; aberturas e os tipos de esquadrias. (SILVA, 2007)	
Fissuras causadas por movimentação higroscópica	A quantidade de água absorvida por um material de construção está diretamente relacionada com a sua porosidade e capilaridade. Os materiais de construção, quando tem seus poros totalmente preenchidos por água aumentam de volume, diminuindo à medida que perdem água por evaporação (RIBAS, 2002)	 <p data-bbox="1145 1585 1353 1619">(THOMAZ, 1992)</p>
Fissuras causadas por atuação de sobrecargas	Argiles e Garcia (1999) explica que as fissuras causadas por sobrecargas apresentam configurações típicas tais como: a fissuração vertical (Exemplo); fissuração horizontal, fissuração pontual próxima do ponto de aplicação da carga e fissuração horizontal e distribuída na alvenaria.	 <p data-bbox="1026 1966 1469 2000">(THOMAZ, 1989 apud SILVA, 2007).</p>

<p>Fissuras causadas por deformação da estrutura</p>	<p>As causadas por deformações excessivas são originadas por falhas de projeto e/ou construção, sendo assim também de difícil reparo e com forma de correção semelhante: inserção de novos elementos estruturais afim de absorver as cargas que resultam tais fissuras.</p>	 <p>Trinca horizontal na base da parede provocada pela deformação excessiva da laje (THOMAZ, 1992).</p>
<p>Fissuras causadas por recalques de fundação</p>	<p>Argiles e Garcia (1999), Helene (1993) e Thomaz (1992) afirmam que as trincas e fissuras causadas por recalques de fundação são os mais preocupantes, pois indicam problemas nas fundações da construção. Na sua maioria, as fissuras provenientes de recalques possuem inclinação próxima de 45°.</p>	 <p>Trincas típicas, provenientes de recalques diferenciados entre pilares (THOMAZ, 1992).</p>
<p>Fissuras causadas por hidratação de cales</p>	<p>A hidratação retardada da cal acontece quando há grãos mal hidratados na cal utilizada para a argamassa e, quando esses grãos entram em contato com a água, os mesmos hidratam-se aumentando seu volume em até 100% (SILVA, 2007).</p>	

2.1.2 Descolamentos do revestimento

Os descolamentos, por conceito, são a separação de uma ou mais camadas dos revestimentos de argamassa, com extensão variável podendo abranger a totalidade da alvenaria (BAUER, 1997).

Thomaz e Chimelo (1993, apud SEGAT, 2005) relacionam algumas causas mais comuns dos descolamentos de argamassa, onde estas podem atuar de forma combinada ou individual, entre eles: proporcionamento incorreto da argamassa; emprego de materiais com alto teor de finos; emprego da cal hidratada adulterada ou de baixa qualidade; emprego de aditivos plastificantes que não substituem a porosidade de retenção de água da cal hidratada; aplicação da argamassa sobre superfície muito lisa, sem prévio chapisco do substrato; aplicação da argamassa em camada muito espessa e pintura precoce dos revestimentos à base de cal.

O descolamento pode acontecer de três diferentes maneiras nas construções: com empolamento, em placas ou com pulverulência, exemplificado na tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de descolamentos e suas características.

Tipo descolamento	Característica	Exemplo
Descolamento com empolamento	Acontece quando a superfície descola do reboco, formando bolhas que aumentam com o tempo.	 <p>(CINCOTTO, 1988)</p>
Descolamento em placas	Ocorre em placas endurecidas, e as causas dessa quebra podem ser atribuídas a uma argamassa muito rica e/ou aplicada em camada muito espessa; uma superfície de base muito lisa e/ou impregnada com substância hidrófuga; ausência de chapisco ou a superfície de contato com a camada inferior possuir a presença de placas de mica (CINCOTTO, 1988).	 <p>(CINCOTTO, 1988)</p>

Descolamento com pulverulência	Este tipo de descolamento apresenta a característica do revestimento descolar, tendo como consequência o esfarelamento do reboco. Bauer (1997) e Cincotto (1988) apontam como causas do descolamento com pulverulência o excesso de materiais pulverulentos, o traço com poucos aglomerantes ou com excesso de cal e a ausência da carbonatação completa da cal.	 <p>(SEGAT, 2005).</p>
--------------------------------	--	---

2.1.3. Umidade

A ação da umidade nos edifícios tem sido reconhecida como um fator de extrema importância, por ser capaz de desencadear uma série de anomalias nas edificações. Muitas dessas anomalias existentes devem-se à presença de umidade que provoca deterioração dos materiais de construção, comprometendo o seu desempenho no que se refere à durabilidade, estanqueidade e à degradação do aspecto estético das construções, proporcionando condições insalubres para seus usuários.

Verçoza (1991) afirma que a umidade não é apenas um elemento causador isolado de uma manifestação patológica em virtude de agir, também, como meio necessário para que grande parte dos problemas patológicos surja. Ela é fator essencial para o surgimento de eflorescências, mofo, bolores, descolamentos e até mesmo causadora de acidentes estruturais.

As incidências mais comuns nas construções são decorrentes da ação da água em forma de infiltração, gerando manchas de umidade e comprometimento de parte dos revestimentos. Essas anomalias podem gerar graves problemas e de difícil solução, como: prejuízos funcionais da edificação, desconforto ao usuário e até mesmo efeitos prejudiciais à saúde e diversos prejuízos financeiros (SOUZA, 2008).

Sendo a umidade um elemento causador de diversas manifestações patológicas e de difícil diagnóstico pelo fato de não apresentar regra de surgimento (VERÇOZA, 1991), fez-se necessária contextualização de como ela se movimenta nos elementos construtivos das edificações, bem como dos elementos causadores da mesma.

2.1.3.1. Mecanismos de transporte de umidade nos materiais

O transporte da água pela edificação é um fenômeno que acontece em virtude de sua movimentação no interior dos poros dos materiais constituintes dos elementos das construções. Estes, através de seu tipo, tamanho e distribuição influenciam este movimento, bem como o surgimento de eventuais fissuras nos revestimentos (NAPPI, 2002).

Mehta e Monteiro (1994) afirmam que a água possui propriedades que a torna a principal agente deterioradora de materiais. Isto acontece pela água ter a característica de dissolver substâncias, com a penetração de cavidades e/ou poros extremamente finos decorrentes de suas pequenas moléculas e também por possuir maior temperatura de evaporação dentre os líquidos mais comuns, permanecendo assim no estado líquido ao invés de evaporar e deixar o sistema em questão seco, livre de umidade.

Os materiais possuem diferentes teores de porosidade, de acordo com sua composição. Se o material for poroso, o mesmo possui determinado teor de umidade. As variações deste teor ocasionam os fenômenos de tensões de expansão e retração volumétrica, que são chamados de movimentação higroscópica e causam desgaste nos materiais submetidos a ele (POSSER, 2004).

Straube (2002) classifica as formas de armazenamento de água pelos materiais porosos de três diferentes maneiras: absorção, capilaridade e supersaturação.

- a) Por absorção: acontece quando a superfície analisada tende a capturar e manter as moléculas de água devido à natureza polar das mesmas. Durante a absorção, as moléculas de água são fixadas à superfície (STRAUBE, 2002);

- b) Por capilaridade: dá-se por conta da força de sucção capilar exercida nos capilares de um material, resultante da atração entre água e os capilares do mesmo, assim como a tensão superficial do líquido (CHAROLA, 2000);
- c) Por condensação: ocorre quando se dá a redução da temperatura do ar até o ponto onde o mesmo não consegue manter a água no seu estado gasoso, chamada temperatura de orvalho. Assim, quando acontece a condensação, formam-se gotículas de água nas superfícies em questão (condensações superficiais) ou no interior do material (condensação interna) (POSSER, 2004).

2.1.3.2. Elementos causadores de umidade

A presença de umidade nas edificações pode ser originada por variadas causas. A cada tipo corresponderão, em geral, conjuntos de sintomas que poderão ser detectados por simples observação visual ou aplicação de avaliações técnicas mais profundas. Com o principal objetivo de facilitar a identificação e atribuição de causas às umidades, Perez (1988 *apud* LERSH, 2003), em um dos primeiros estudos nacionais acerca de umidade nas edificações, classificou cinco diferentes grupos de formas de manifestação da mesma: umidade da obra, umidade do solo, umidade por infiltração, umidade por condensação e umidade accidental. As mesmas são descritas a seguir.

a) Umidade da obra

Este tipo de umidade ocorre devido à água utilizada no processo construtivo para as misturas de argamassas de assentamento, chapisco, reboco, dentre outras. Também, surge nos locais onde as águas de chuva ficam depositadas e/ou no caminho onde percolam, e nas regiões argamassadas onde o traço foi alterado. Outro exemplo, que pode ser citado, é que as obras seguem etapas a serem construídas, e muitas vezes alguns locais ficam vulneráveis à ação da incidência de água da chuva, por falta de elementos protetores (Figura 4).



Figura 4 - Manchas de umidade originadas pela ausência de pingadeira.

b) Umidade do solo

Este tipo de umidade é provocado pela ascensão de água do solo. Grande parte dos materiais utilizados na construção civil possui uma estrutura porosa que conduz a uma capilaridade elevada, possibilitando, na ausência de qualquer tipo de barreiras estanques, que a água possa migrar por ascensão capilar. Para que isto ocorra, Oliveira (2013) destaca que é necessário que haja contato entre as paredes e/ou fundações e a água do solo, o que acontece quando:

- As fundações das paredes se encontram abaixo do nível freático;
- As fundações das paredes se encontram acima do nível freático em zonas de terreno com grande capilaridade, provocando a elevação da água existente em uma cota inferior;
- Paredes implantadas em terrenos pouco permeáveis ou com desníveis virados para as paredes, provocando o deslizamento das águas sobre o terreno, entrando assim em contato com as paredes.

A ascensão da água nas paredes varia com a porosidade dos materiais que a constituem, uma vez que quanto menor o diâmetro dos poros maior será a altura teórica que a água pode atingir. Varia, também, com as condições de evaporação, visto que a ascensão de água numa parede tende a estabilizar quando a quantidade de água evaporada iguala a quantidade de água absorvida do solo por capilaridade. Ademais, pode variar de acordo com a orientação em que se encontram, uma vez

que as paredes voltadas para Sul são mais afetadas pela umidade do que as voltadas para o Norte (OLIVEIRA, 2013), conforme mostra a figura 5.



Figura 5 - Umidade do solo.

c) Umidade por infiltração

A umidade por infiltração acontece, na maior parte das vezes, por ação da chuva. Levando em consideração a trajetória vertical do fenômeno de precipitação, percebe-se que esta não constitui uma ação de grande relevância para as paredes dos edifícios. O motivo de maior preocupação é quando o vento se junta à chuva, fazendo com que sua trajetória se altere e se torne mais horizontal à medida da intensidade do vento.

As paredes devem ser concebidas para resistirem à penetração da água das chuvas, mas problemas tais como a existência de fissuração, má impermeabilização, dentre outros permitem que a chuva penetre nas paredes, aumentando assim a probabilidade de ocorrência de anomalias (Figura 6).



Figura 6 - Forro com manchas de umidade por infiltração.

Fonte: Souza, 2008.

As anomalias diretamente associadas à ação da chuva são o aparecimento de bolores ou fungos, a formação de eflorescências e o aparecimento de manchas de umidade que surgem na face interior das paredes exteriores, manifestando-se com a ocorrência de precipitação e com tendência a desaparecerem com o tempo seco.

d) Umidade por condensação

O ar apresenta na sua constituição não só gases, mas também vapor de água. Sempre que, em determinadas condições, o ar entra em contato com as superfícies mais frias e a sua quantidade de vapor de água atinge a quantidade máxima de vapor que pode conter para a temperatura em questão, ocorrerão condensações na superfície (POLISSENI, 1985 *apud* LERSCH 2003).

Oliveira (2013) ainda afirma que a quantidade de vapor de água contida num espaço define-se como umidade absoluta, e a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter, classifica-se por limite de saturação. Este último sendo função da temperatura, uma vez que aumenta e diminui proporcionalmente à temperatura do ar. Então, através do quociente entre a umidade absoluta e o limite de saturação para uma dada temperatura, obtém-se a umidade relativa.

A formação de manchas de bolor e o escorrimento de água ao longo das superfícies das paredes, por exemplo, são anomalias provocadas por condensações.

e) Umidade acidental

A umidade acidental é pontual e normalmente associada a defeitos de construção e/ou falhas relacionadas à mão de obra da construção ou dos equipamentos (PEREZ, 1985 *apud* LERSCH, 2003). Entupimentos nos sistemas de abastecimento de água e esgoto, drenagem das águas pluviais como calhas, tubos de queda e rufos podem ser responsáveis pelo aparecimento de umidades acidentais (Figura 7).



Figura 7 - Umidade acidental.

Henriques (1995 *apud* HATTGE, 2004) afirma que os sintomas de umidade acidental são muito variáveis, porém, destaca algumas características típicas destas aparições, tais como: a natureza localizada das manifestações, associação com os períodos de precipitação quando infiltrações de água da chuva, caráter permanente em situações de danificação à canalização e migração da umidade para locais afastados da origem quando os elementos propiciem a atuação dos mecanismos de capilaridade.

A presença de umidade desta natureza ocorre, também, em função da falta de manutenção das edificações no que se refere a vazamentos não corrigidos e/ou águas paradas (LERSCH, 2003).

Os elementos causadores de umidade proporcionam o surgimento de várias manifestações patológicas, entre elas pode-se citar: eflorescência, fungos e descolamento com empolamento.

2.1.3.3 Manifestações patológicas oriundas de umidades

a) Eflorescência

São depósitos salinos – alcalinos e alcalinos terrosos – na superfície de alvenarias ou revestimentos, provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais e componentes da alvenaria. São caracterizadas por manchas de umidade e pó branco sobre a superfície (CINCOTTO, 1988).

Este fenômeno está diretamente ligado às propriedades de absorção e permeabilidade das argamassas. Este tipo de manifestação patológica apresenta vazios em seu interior decorrentes da presença de água destinada a promover trabalhabilidade ao material e necessária às reações de hidratação do cimento. Nestes vazios, pode ocorrer o fluxo da água por pressão ou capilaridade, introduzindo substâncias agressivas presentes no substrato ou dissolver e transportar sais solúveis presentes no próprio material (BARROS et al., 1997).

b) Fungos

São os principais agentes da degradação dos revestimentos superficiais nas fachadas e possuem grande adaptabilidade a meios com baixa umidade e altas variações de temperatura (UEMOTO, 1988). Quando formados em colônias, os fungos têm uma textura parecida com de uma esponja, como ilustra a figura 8, de tonalidades escuras. Esta textura favorece a retenção de água e sua cor absorve o calor pela sua tonalidade escura, fatores que auxiliam a manutenção do ambiente adequado a seu crescimento como a umidade e temperaturas elevadas.



Figura 8 - Aspecto da textura de colônia de fungos.

Em relação à umidade, Guerra (2012, p. 92) afirma “a água é um elemento essencial para manutenção de qualquer forma de vida. Quando é absorvida e passa, então, a estar contida dentro dos poros dos materiais, manifesta-se como fenômeno de umidade”. Além de umidade e temperatura, as condições de substrato também influenciam no desenvolvimento dos fungos. Viitanen et al. (2010) afirmam que os nutrientes, o pH, permeabilidade à água, dentre outros aspectos relacionados ao substrato, são significativos para o crescimento destes organismos.

c) Descolamento com empolamento

Essa anomalia ocorre oriunda da presença de umidade que pode causar o esfarelamento da argamassa até o descolamento da superfície. O empolamento presente consiste na formação de bolhas originadas pela evaporação da água infiltrada nas paredes e que geralmente ocasiona o descolamento (PERES, 2004).

A forma mais visível de identificar o empolamento no descolamento dá-se ao observar a desagregação do reboco com o emboço em forma de bolhas, cujos diâmetros aumentam progressivamente, conforme ilustra a figura 9.

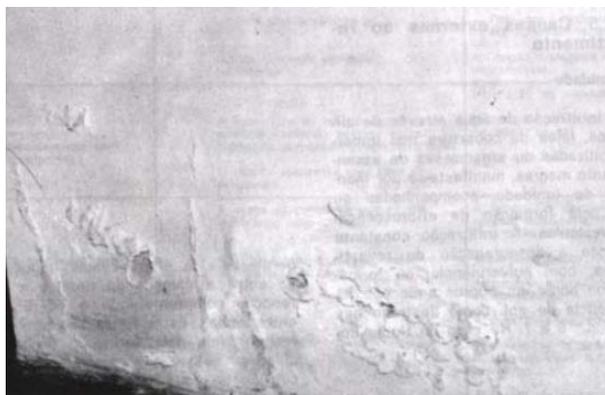


Figura 9 - Descolamento com empolamento.

Fonte: Cincotto, 1988.

O próximo item deste capítulo será a descrição dos métodos não destrutivos de ensaio.

2.2 Métodos de ensaios não destrutivos

No estudo da Patologia das Construções, técnicas não destrutivas têm-se mostrado bastante úteis na detecção e caracterização de problemas ocorridos nos materiais, elementos de construção e soluções estruturais, tornando-se importantes para o estudo das manifestações patológicas que as edificações apresentam nos dias de hoje.

Os ensaios categorizados por não destrutivos são aqueles que não causam danos algum ao objeto analisado, ou deixam pequenos danos possíveis de recuperação pós-ensaio, e não provocam a perda na capacidade resistente do elemento. Não há restrição da idade da edificação para esta modalidade de métodos. Eles podem ser empregados para levantamento e identificação das manifestações patológicas, monitoramento da sua evolução e instrumento para qualificar o diagnóstico das anomalias encontradas (EVANGELISTA, 2002).

Evangelista (2002) cita a *British Standard Institution, BS1881, part.201* (1986) para enumerar as conveniências dos métodos não destrutivos:

- a) Controle tecnológico em pré-moldados ou construções em sito;
- b) Aceitação, ou não, de materiais fornecidos;
- c) Esclarecimento de dúvidas a respeito da mão de obra envolvida em mistura, lançamento, compactação ou cura do concreto e transporte;
- d) Monitoramento do desenvolvimento da resistência visando remoção de formas, duração da cura, aplicação da protensão ou de cargas, remoção de escoramento;
- e) Localização e determinação da extensão de fissuras e vazios;
- f) Determinação da posição, diâmetro ou condições das armaduras;
- g) Determinação da uniformidade do concreto;
- h) Aumento do nível de confiança de um pequeno número de ensaios destrutivos;
- i) Verificar a deterioração do concreto resultante de sobrecarga, fadiga, fogo ou ataque do meio ambiente;
- j) Avaliação do potencial de durabilidade do concreto;

- k) Monitoramento de mudanças das propriedades dos materiais ao longo tempo;
- l) Fornecimento de informações para que se verifique se é possível mudar a utilização de uma estrutura.

Sahuinco (2011) afirma que os métodos de ensaios não destrutivos são utilizados para obter-se informações que possam contribuir no processo de tomada de decisão relativa às manifestações patológicas quando as mesmas não se apresentam deterioradas a luz visível, ou ainda, quando se mostra externa ou não esteja desempenhando seu papel estrutural satisfatoriamente. Sendo os mais utilizados o método da esclerometria, o método do ultrassom e a termografia.

2.2.1 Método da esclerometria

Bungey e Millar (2006) salientam o método da esclerometria como potencial nas análises de elementos de concreto. De acordo com os autores, o esclerômetro – equipamento utilizado nos ensaios – é de simples operação, sendo que o ensaio acontece de forma rápida e determina a resistência do concreto à compressão. O ensaio de dureza superficial do concreto por esclerômetro é regulamentado pela NBR 7584 (ABNT, 2012).

Meneghetti (2009) cita as vantagens do uso deste método de ensaio como baixo custo, simplicidade da execução e a rapidez do ensaio. Dentre as desvantagens da utilização do método, pode-se citar que a textura da superfície afeta os resultados deste tipo de ensaio (MALHOTRA E CARINO, 2004), também a idade do concreto interfere, o grau de saturação do concreto também tem um efeito decisivo nos resultados de esclerometria, por isso as condições de umidade interna do concreto devem ter uma atenção especial.

Diversos estudos já foram desenvolvidos tendo como base o método da esclerometria. Pazzini e Zancan (2012) utilizaram o ensaio para vistoria de um estádio de futebol, e concluíram que o método apresenta grande potencial para o diagnóstico de manifestações patológicas nas estruturas, porém, deve ser aplicado sempre junto de outro método. Os autores afirmam, ainda, que são importantes para o complemento do diagnóstico ensaios de prova de carga, pois a esclerometria

aponta apenas a resistência do concreto baseada em sua dureza superficial e não os locais onde a estrutura é submetida a valores de cargas pontuais.

Oliveira (2013) avaliou estruturas de concreto armado, combinando o método da esclerometria com ensaios de carbonatação, cloretos, e corrosão de armaduras e, também, concluiu que esclerometria é um método valioso para o diagnóstico de manifestações patológicas quando combinado com outros métodos.

Jordy e Mendes (2006) desenvolveram uma metodologia baseada no levantamento geométrico de marquises, juntamente com seu estado de impermeabilização e sistema de drenagem. Posteriormente foram analisadas as condições físicas, de exposição das armaduras e a determinação da resistência mecânica e integridade do concreto, este último através da utilização do esclerômetro. Com as informações coletadas, os autores correlacionaram o comprimento exposto de armadura versus resistência média do concreto. Afirmaram que é possível a obtenção de pareceres técnicos confiáveis para as estruturas de marquises com base na sua metodologia proposta.

2.2.2 Método do ultrassom

O método de ensaio do ultrassom consiste na avaliação da velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos através de dois pontos estabelecidos, levantados por um aparelho que registra o tempo que este pulso leva de um ponto ao outro. Com o tempo fornecido pelo aparelho e a distância entre pontos é obtida a velocidade do pulso, que por sua vez, permite relacioná-la com as propriedades elásticas do concreto, gerando os seguintes dados para análise: módulo de elasticidade dinâmico do concreto, resistência à compressão, localização de vazios, profundidade de fissuras internas e deteriorações existentes (SAHUINCO, 2011).

O método do ultrassom pode ser considerado um dos mais promissores para avaliação de estruturas de concreto. Com seus resultados é possível verificar o controle de qualidade dos elementos analisados, detecção de possíveis defeitos e caracterização dos materiais constituintes do concreto (SILVA FILHO et al., 2011). Lorenzi et al. (2013) afirmam que a utilização do tomógrafo possibilita um controle total da estrutura, inclusive da ação do tempo sobre a mesma.

Meneghetti (2009) cita as vantagens e desvantagens do método. As vantagens são: facilidade de operação do equipamento e baixo custo de aplicação do mesmo. Como desvantagens pode-se afirmar o alto custo do aparelho e a quantidade de variáveis que influenciam nas leituras do ensaio como: distância entre as superfícies de contato dos transdutores, presença de armaduras, densidade do concreto, tipo e característica dos elementos ensaiados, tipo de cimento e grau de hidratação, idade do concreto, teor de umidade e a temperatura do concreto.

No Brasil, a execução do ensaio por ultrassom é regulamentada pela NBR 8802 (ABNT, 2013) que prescreve como determinar a velocidade de propagação das ondas longitudinais por pulsos ultrassônicos medidos eletronicamente no concreto.

2.2.3 Método da termografia

Segundo Silva (2012), trata-se de uma técnica simples e consiste no princípio da capacidade de todos os materiais emitirem energia, sob a forma de calor, na zona de radiação infravermelha do espectro eletromagnético. Os detectores infravermelhos identificam a radiação e a transformam num sinal elétrico que é o responsável por gerar uma imagem térmica colorida que representa a distribuição das temperaturas superficiais do corpo, correspondendo a cada cor um determinado intervalo de temperatura, como na figura 10.

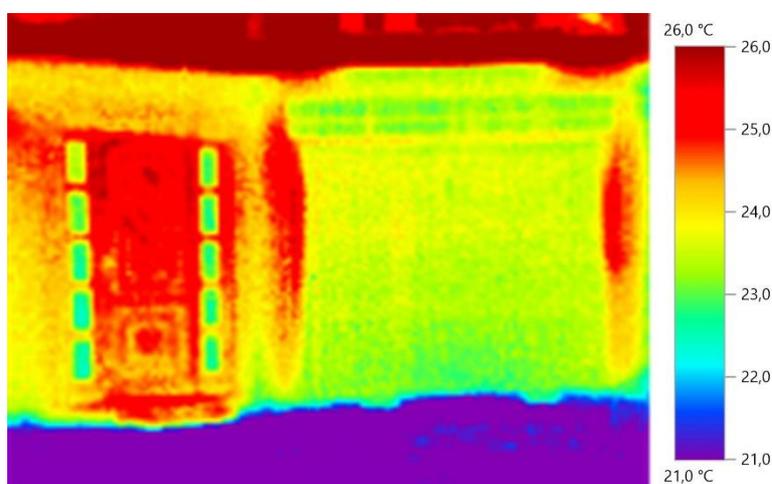


Figura 10 - Imagem termográfica da fachada de uma residência.

Cortizo (2007) elaborou uma tabela (Tabela 3) com cronograma histórico do uso da termografia em âmbito mundial. A proporção das evoluções nas décadas de 50, 60, 70 e 80 foram de extrema importância para o desenvolvimento do método, porém, foi a partir da década de 90 que o aparelho ganhou força para inserir-se no mercado por ganhar resolução e velocidade nos ensaios. Nos dias de hoje o método se encontra em crescimento devido ao aumento do número de pesquisas acerca do mesmo, porém o valor do equipamento ainda é um empecilho.

Tabela 3 - Linha histórica da termografia.

Época	Evento
1950	Os primeiros radiômetros.
1960	Os primeiros sistemas de infravermelho imageadores (termovisores).
1970	Os visores térmicos, sem a determinação de temperatura, somente a detecção qualitativa.
1980	Aprimoramento na óptica e a utilização de circuito integrado, permitindo redução de peso e volume dos equipamentos. Em especial no ano de 1985, os detectores resfriados termoeletricamente, substituindo os equipamentos que utilizavam o nitrogênio líquido.
1990	Realização de centenas de imagens por segundo com alta resolução e grande sensibilidade.

Fonte: CORTIZO, 2007.

A imagem termográfica é a forma de apresentação dos resultados registrados pelo equipamento. Esta representação dá-se através da radiação infravermelha, que por conceito, é a energia transmitida por toda matéria que se encontra a uma temperatura acima do Zero Absoluto (-273°C).

A figura 11a representa um impulso de calor aplicado à superfície, seguido do impulso viajando dentro do material e encontrando um defeito (Figura 11b) e, por fim, o defeito reflete e transmite parcialmente o pulso (Figura 11c). De forma geral, segundo Holst (2000), este é o princípio básico de funcionamento do imageamento termográfico, onde os locais que apresentarem diferenças de comportamento são traduzidos em uma fotografia com escala de cor pré-definida.

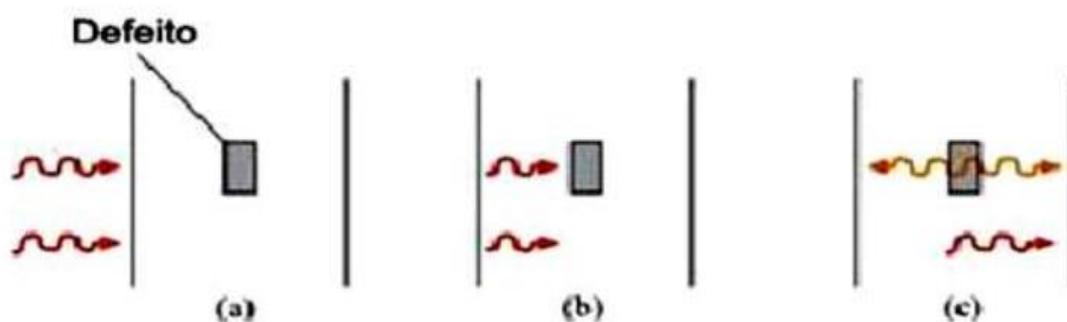


Figura 11 – (a) Impulso de calor aplicado à superfície. (b) Impulso viajando dentro do material. (c) O defeito encontrado reflete e transmite o pulso parcial.

Fonte: HOLST, 2000.

Com o desenvolvimento dos estudos e evolução da tecnologia, a termografia passou a ganhar variáveis em relação ao caracterizado por Holst (2000). Maldague (2001) apresenta duas técnicas para o método não destrutivo: termografia passiva e termografia ativa. De acordo com o autor, a técnica passiva engloba os materiais que já contém armazenamento interno de energia ou são estimulados por uma fonte natural de calor. Já a técnica ativa envolve o aquecimento/resfriamento dos materiais com o objetivo de gerar fluxo de calor e, conseqüentemente, a variação térmica necessária.

Na análise qualitativa de fachadas de edificações através da termografia é feita uma leitura simples da imagem térmica, registrando apenas a diferença local da temperatura superficial, através da diferença de cores registrada pelo aparelho, indicando assim a existência ou não de uma anomalia. Silva (2012) reforça que a análise qualitativa é dotada de uma relativa simplicidade, porém, salienta que é de “extrema importância que quem efetua os ensaios e interpreta os resultados tenha alguma experiência, para saber qual o tipo de imagem que seria de esperar caso não existisse qualquer anomalia”. Neste contexto, podem ser citados os estudos de Cortizo (2007), Freitas et al. (2014) e Moresco et al. (2015) por terem característica qualitativa.

Na termografia quantitativa, a análise da imagem passa por quantificar as variações de temperatura superficial, sendo necessário registrar e introduzir uma série de parâmetros, como a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, distância à superfície e emissividade. Este tipo de abordagem requer um detalhamento mais

específico das condições de ensaio, sendo assim mais demorado (SILVA, 2012). Neste modelo de análise a interpretação não é feita *in loco*, sendo as imagens gravadas no aparelho para posterior tratamento computacional e avaliação dos resultados obtidos. É fundamental que o equipamento seja calibrado com precisão, uma vez que se pretenda obter valores reais da temperatura para o objeto em estudo e não apenas uma comparação das temperaturas relativas, como nos moldes qualitativos.

Para melhor entendimento da técnica da termografia, o próximo item descreve o sistema do imageamento termográfico.

2.2.3.1 Sistema de imageamento termográfico

As câmeras termográficas são o equipamento mais recente para medição dos estudos em termografia. Elas têm um formato semelhante a câmeras de vídeo e fotográficas, diferenciando-se entre estas porque operam em banda espectral de infravermelhos. As câmeras são de fácil utilização e possibilitam a medição em tempo real, permitindo localizar o problema e guardar uma imagem para fornecer o histórico completo (HART, 1991).

Percebe-se, observando a figura 12, que o olho humano visualiza um pequeno intervalo do espectro eletromagnético, fazendo com que equipamentos especializados traduzam em imagens o que a luz visível não mostra. No caso do presente trabalho o equipamento capta imagens infravermelhas para as leituras chamadas de termogramas. Porém existem no mercado equipamentos raios-x, de visualização noturna e diversos outros com o mesmo princípio: nos mostrar o que nosso olho não enxerga naturalmente.

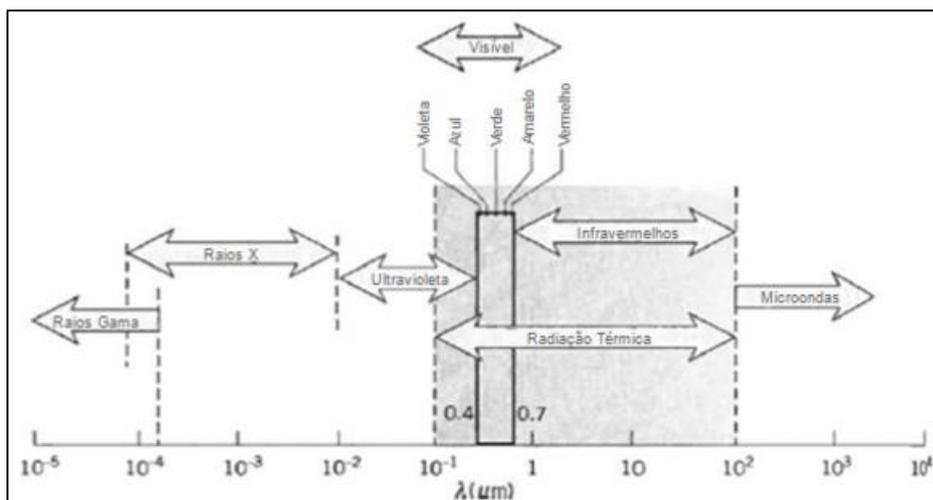


Figura 12 - Espectro eletromagnético.

Fonte: Souza, 2010.

Silva (2012) chama atenção para a importância do entendimento do conceito de emissividade, por ser um parâmetro fundamental na regulação do equipamento para aplicação da termografia. O autor explica que a emissividade é a eficiência com que a superfície real emite radiação em comparação à um corpo negro sujeito à mesma temperatura. O corpo real não apresenta o mesmo valor de emissividade em todos comprimentos de onda, porém, esta variação não impossibilita a aplicação da termografia por infravermelhos, pois esta opera em intervalos limitados do espectro eletromagnético.

A emissividade, também, é uma propriedade das superfícies cujo valor é influenciado por diversos fatores, como a orientação e condições da superfície, temperatura, comprimento de onda da radiação e tipo de material (AVDELIDIS, MOROPOULOU, 2003). Na tabela 4 é possível observar os valores de temperatura e emissividade de alguns materiais da construção civil.

Tabela 4 - Emissividade de alguns materiais.

Material	Temperatura (°C)	Emissividade
Aço oxidado	25 – 100	0,79 – 0,80
Aço, não oxidado, polido	100	0,07 – 0,08
Alumínio, não oxidado, polido	0 – 100	0,03 – 0,06
Água	0 – 100	0,93 – 0,98
Concreto	-	0,92 – 0,94
Cerâmica	21	0,93
Papel branco	20	0,70 – 0,95
Pedra calcária	38	0,95
Pele humana	32	0,98

Fonte: BARREIRA e FREITAS, 2007.

A emissividade é um parâmetro que influencia os resultados obtidos através da termografia de infravermelhos, porém, no estudo térmico para apontar uma análise qualitativa de manifestações patológicas, o valor da emissividade não é muito importante visto tratar-se apenas de uma análise das diferenças de temperatura entre as regiões analisadas das fachadas das edificações (BARREIRA e FREITAS, 2007).

2.3 Estado da arte sobre o tema da pesquisa

Ao realizar-se um levantamento dos estudos já realizados até o momento, com os principais temas deste trabalho, termografia e manifestações patológicas, é possível citar alguns deles que apresentaram conclusões significativas.

Barreira (2004) aplicou a técnica da termografia em edifícios e concluiu que a mesma pode ser útil na detecção de zonas com isolamento deficiente em fachadas e coberturas, na detecção de fugas de ar através das janelas, defeitos nos revestimentos de fachadas e conforto da edificação.

Wild (2007), após breve revisão sobre os conceitos de radiação infravermelha e emissividade, aplicou a termografia em edifícios de diversas prefeituras de cidades da Alemanha como forma de experimentar o método na detecção de manifestações patológicas nas edificações e tubulações de piso e parede. Após a aplicação do método não destrutivo, concluiu através dos termogramas que a técnica aponta

manifestações patológicas como manchas de umidade e sujidade, além de apontar a maior parte das canalizações de calefação das edificações.

Rao (2008) afirma que a termografia infravermelha é um método poderoso para avaliação e investigações rápidas de estruturas. O autor analisou diversos elementos construtivos isoladamente, como pilares de concreto armado e tubulações de água fria em edificações. Ao perceber que a técnica apontava diferenças de temperatura em uma escala bastante precisa, o mesmo aplicou a metodologia em partes de edificações afetadas por manchas de umidade. Após a coleta de dados e seu processamento, concluiu que a termografia é capaz de apontar problemas de umidade nas edificações, fazendo-se um método bastante potencial no monitoramento dos revestimentos.

Cortizo et al. (2008) aplicaram a termografia voltada ao diagnóstico de manifestações patológicas das edificações, e o objeto de estudo foi uma edificação do Patrimônio Histórico Nacional: a Capela São Sebastião de Águas Claras. Após o diagnóstico das anomalias através dos resultados termográficos, os autores concluíram que o ensaio não destrutivo é uma realidade e representa um salto qualitativo na preservação e conservação de bens imóveis, sejam elas com relevância cultural ou não.

Olarte et al. (2010, 2011) desenvolveram dois trabalhos, o primeiro utilizando o método da termografia em edificações que servem para ambientes de empresas e que possuem um alto grau de manifestações patológicas. E o segundo, onde o principal objetivo foi certificar que a termografia pode ser utilizada com uma ferramenta útil para manutenção e conservação de edificações. Concluiu que seu uso evita grandes desperdícios financeiros, pois antecipa a solução de problemas.

Pedra (2011) avaliou as potencialidades da termografia infravermelha para o estudo do design do conforto térmico, utilizando um modelo de alvenaria estrutural de concreto/cerâmica, empregando o EPS como material isolante adicional ao sistema. Os resultados mostraram que a termografia tem potencial para monitoramento de alvenarias, podendo contribuir de forma eficiente para o estudo do design do conforto térmico, e que o conjunto bloco de concreto/cerâmica e EPS pode ser uma boa estratégia para obtenção de alvenarias estruturais mais isolantes.

Grosso (2011) utilizou a técnica da termografia para detectar o processo corrosivo em substrato de aço, localizado abaixo do revestimento anticorrosivo em uma indústria de petróleo. Concluiu ser possível a utilização da técnica para uso em

identificação de processos corrosivos, desde que sejam utilizadas técnicas computacionais que melhorem as imagens termográficas.

Altoé e Oliveira Filho (2012) desenvolveram uma pesquisa que analisou o uso da termografia em inspeções preventivas e corretivas de edifícios localizados no Campus da Universidade Federal de Viçosa. As edificações foram inspecionadas com auxílio de uma câmera termográfica. Os registros termográficos gerados na vistoria possibilitaram a detecção de problemas construtivos e a identificação de detalhes relacionados às características térmicas da construção, possibilitando a definição de ações de manutenção da estrutura física e medidas de conservação de energia na edificação.

Barreira et al. (2012) executaram diversos testes com o termovisor, desde a aplicação da metodologia no corpo humano até a utilização aplicada a modelos de concreto celular. Primeiramente testaram a termografia na sola do pé humano após o contato com diversos materiais (granito, cerâmica, concreto, dentre outros) por um e dois minutos. Por fim, verificou-se que a termocâmera seria capaz de captar diferenças de temperatura instantânea e com precisão. Após a submissão dos testes, os autores afirmaram que o método tem precisão de variação de temperatura e a curto prazo. Ainda, aplicaram o método com valores distintos de emissividade. O objetivo do estudo foi verificar se este parâmetro seria capaz de alterar ou distorcer os resultados do imageamento. Como conclusão, os autores afirmaram que há diferença de imagem quando alterados os parâmetros de emissividade do aparelho, porém, as variações de temperatura da superfície analisada mantêm-se constantes. Por isso, concluem que a termografia pode ser um método eficaz para análises qualitativas dos objetos.

Freitas et al. (2014) tiveram como objetivo aplicar a termografia na avaliação de manifestações patológicas relacionadas à temperatura em revestimentos de fachadas. Para tanto, realizaram imagens utilizando um termovisor em diferentes horários do dia nas estações seca e chuvosa em uma edificação da cidade de Goiânia/GO. Mapearam as manifestações patológicas existentes com o auxílio de programa computacional. Como resultado, verificaram que parte das fissuras levantadas visualmente foram visualizadas nas imagens térmicas. Verificaram, também, que o período seco e o horário da tarde provocaram maiores diferenças nas temperaturas superficiais, resultando em isotérmicas mais claras, o que possibilitou a obtenção de imagens que revelaram alguns dos problemas mapeados.

Kersul (2014) realizou um estudo de caso para analisar as instalações elétricas em um edifício comercial de Brasília, para identificar anomalias, classificar e planejar a manutenção. Verificou-se que a termografia é eficaz na identificação de anomalias e é uma ferramenta muito importante para a manutenção dos equipamentos. Essa ferramenta permitiu identificar o problema de cada local visitado, já que a luz visível não foi possível avaliar uma instalação elétrica ou componentes que estão sendo mal utilizados e apresentam defeitos.

Moresco et al. (2015) testaram o método para detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado e concluíram que o método possibilitou a detecção de áreas com as seguintes manifestações patológicas: fissuras, biodeterioração e manchas causadas por umidade. Dentre todos os fatores analisados, recomendam que se tenha cuidado com a incidência solar nos locais analisados, pois este pode alterar o comportamento das manifestações patológicas, porém sem influência na detecção das mesmas. Neste mesmo trabalho, os autores excluíram preocupações relacionadas ao vento, ângulo da visada e distanciamento do aparelho em relação às fachadas analisadas. Porém, deve-se ter cuidado com os parâmetros de emissividade do aparelho, fazendo com que seja necessária revisão sobre o que é emissividade e o conceito de radiação infravermelha.

Caldeira e Padaratz (2015) desenvolveram um trabalho que demonstra a aplicação da termografia infravermelha ativa para detectar danos na ligação concreto e a fibra de vidro (GFRP). O programa experimental desenvolvido possuía uma viga realizada com perfeita ligação entre a fibra e o concreto, e outras vigas com “defeitos” inseridos nesta ligação, através de discos de poliestireno, que tinham diferentes diâmetros para simular danos na ligação. Os resultados mostram a eficácia da termografia infravermelha para avaliar a adesão na interface de GFRP/concreto.

Fox et al. (2015), evoluindo nos estudos do campo da termografia, apresentaram uma nova ferramenta de medição: o *time lapse*. A ferramenta é uma sequência fotográfica programada para capturar imagens em um intervalo fixo e pré-determinado de tempo. A união desta sequência fotográfica gera um vídeo com o objetivo de analisar o comportamento ao longo do período determinado. Com o *time lapse* os autores puderam concluir que a ferramenta apresenta grande potencial para os estudos em termografia por captar a interação meteorológica, como ganho

solar e umidade ao longo do tempo, que o monitoramento feito através fotografias estáticas não possibilita. Segundo os autores, no momento, o estudo encontra-se em fase de verificação de sua eficácia para a termografia quantitativa, pois em relação à qualitativa já provou a mesma eficiência das tradicionais imagens termográficas.

3. Metodologia

Este capítulo irá abordar a metodologia utilizada para realização desta dissertação. As etapas do capítulo dividem-se em: estudo piloto para a utilização do equipamento, projeto e execução dos protótipos e a realização dos ensaios.

3.1. Equipamento

O modelo de câmera termográfica é a Testo 875-2 (Figura 13). No Anexo B são indicadas as características do equipamento, que pertence ao Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas.



Figura 13 - Câmera utilizada no estudo: Testo 875-2.

Disponível em:

http://www.testo.es/resources//media/global_media/produkte/testo_875i/testo-875i-Thermal-Imaging-Camera-1_pdpz.jpg Acesso em: 03/05/2015.

O equipamento utilizado possui uma lente convencional para captação de imagens com resolução de 640x480 pixels. Após a coleta dos dados, as imagens fotográficas e termográficas foram processadas no software *IRSoft®*.

3.1. Estudo Piloto

Alguns autores já testaram as variáveis de seus equipamentos termográficos, como Hart (1991) e Gaussorgues (1999), porém como o equipamento utilizado para essa dissertação é diferente dos já testados e a fim de padronizar seus parâmetros, fez-se necessário o estudo piloto com a Testo 875-2.

Com este objetivo, foram desenvolvidos experimentos para que fossem estabelecidas algumas diretrizes para a coleta de dados, bem como para verificar se alguma destas variáveis poderia causar distorções nos resultados termográficos. Para efetuar essa verificação foi escolhida uma residência unifamiliar da cidade de Pelotas/RS com estrutura de concreto armado e alvenaria de tijolos cerâmicos e de fácil acesso para as leituras.

As variáveis do aparelho testadas no estudo piloto do presente trabalho foram: distância da câmera termográfica em relação à superfície, angulação do aparelho e o valor de emissividade.

3.1.1. Distância da câmera termográfica em relação à superfície

As medições foram feitas com a câmera termográfica a 10 metros de distância da fachada, 5 metros e 3 metros e com altura em relação ao solo de 1,50m. Tais distâncias foram estabelecidas de acordo com o estudo de Freitas et al. (2014), os quais justificaram os valores por se tratarem de distâncias usuais para a captação de imagens em função de tamanho de calçadas e acessos das edificações. (Figura 14).



Figura 14 - Estudo piloto.

A figura 15 mostra as fotografias da fachada a 10, 5 e 3 metros de distância.



(a)



(b)



(c)

Figura 15 – (a) Fotografia a 10 metros. (b) Fotografia a 5 metros. (c) Fotografia a 3 metros de distância da residência analisada.

3.1.2 Angulação do aparelho

A verificação da influência da angulação da câmera termográfica em relação à superfície analisada deu-se de maneira semelhante ao parâmetro de distância da câmera ao objeto. Para esta avaliação foram feitas três fotografias de um ponto escolhido aleatoriamente da edificação estando este sempre um metro acima da superfície de piso e com angulações variadas. Tais angulações foram escolhidas por serem três ângulos distintos e muito utilizados em levantamentos fotográficos de manifestações patológicas. A primeira, na perpendicular ao plano da fachada, ou seja, com ângulo de 90° , sempre é priorizada por diminuir incidência de reflexos e aumentar a resolução da imagem; a segunda com o aparelho aproximadamente a 45° em relação ao eixo horizontal é utilizada para captura de anomalias localizadas no encontro de paredes com teto e piso, e por fim, 30° , quando trata-se de manifestações de mais difícil acesso – esta última pouco utilizada – conforme ilustra a figura 16.

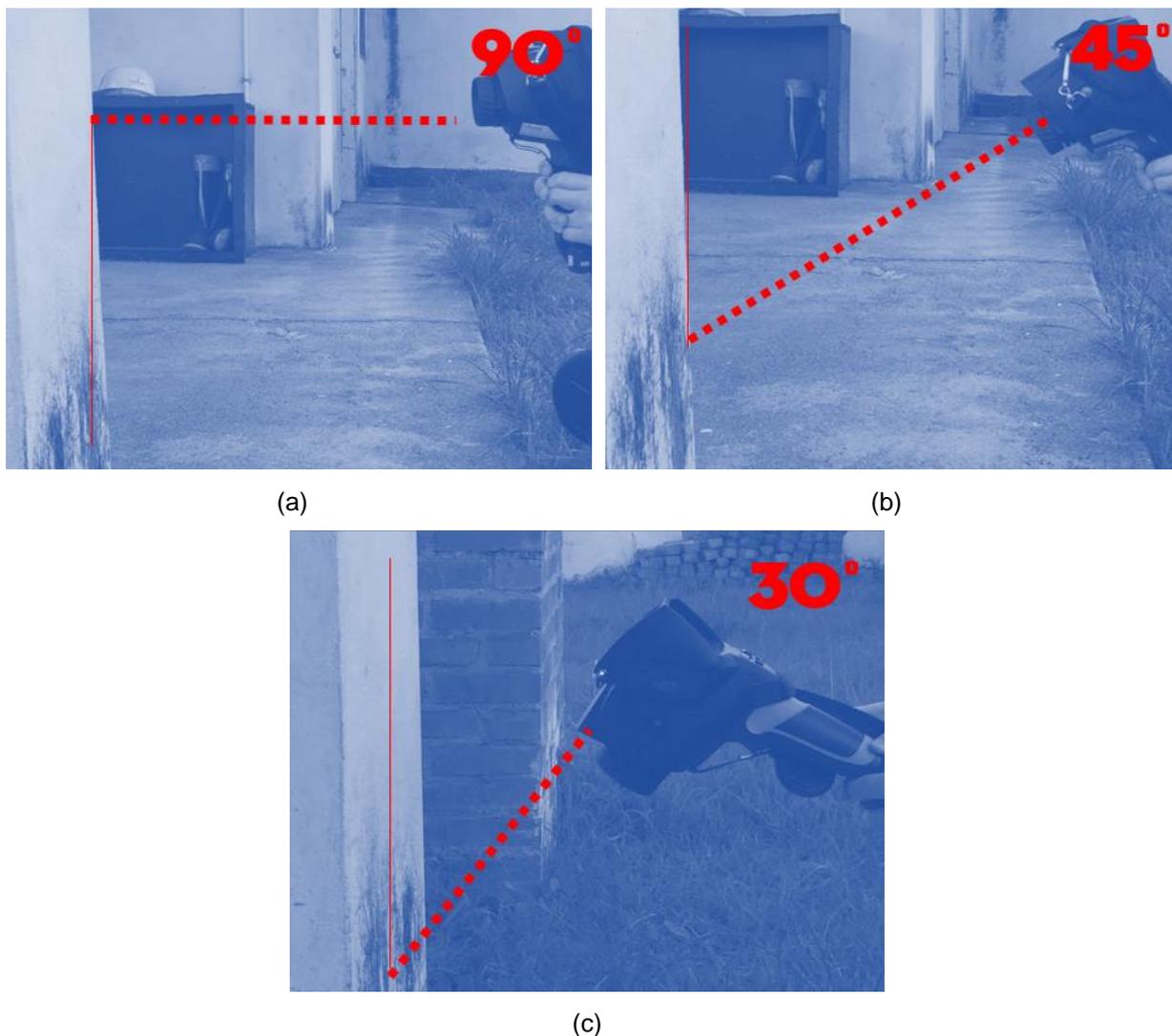


Figura 16 – (a) Fotografia a 90°. (b) Fotografia a 45°. (c) Fotografia a 30° de angulação da residência analisada.

3.1.3 Emissividade do material

Por fim, a última variável testada, a emissividade do material, foi o parâmetro de configuração do aparelho. Na análise qualitativa da termografia é feita uma leitura simples da imagem térmica, registrando apenas a diferença local da temperatura superficial nos corpos estudados, através da diferença de cores registrada pelo aparelho.

Utilizando a câmera termográfica foram capturadas imagens térmicas de um bloco cerâmico e de um bloco de concreto (Figura 17) com quatro valores de

emissividade: 0,62; 0,85; 0,91 e 0,95. Estes valores foram baseados em Barreira et al. (2012).

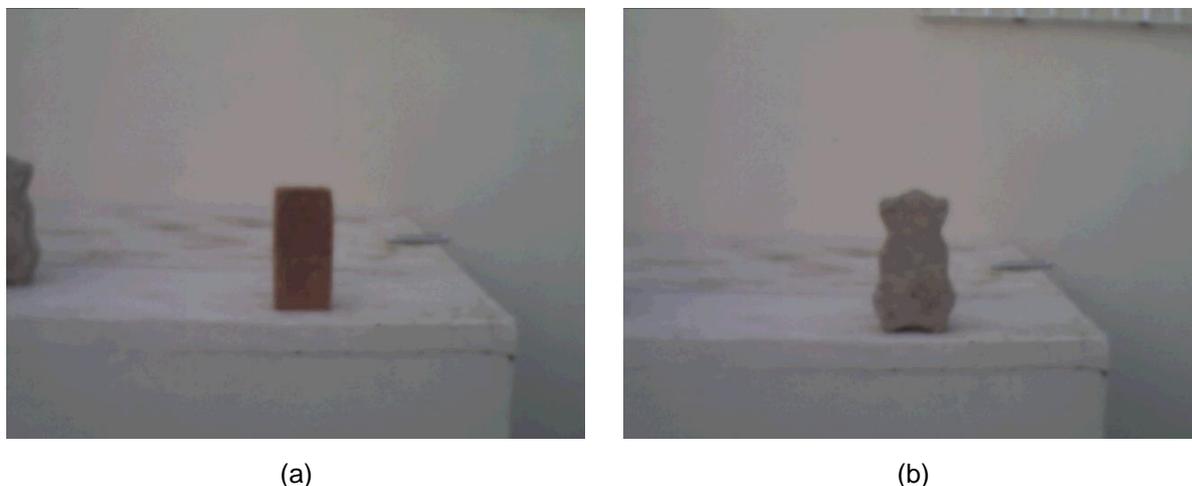


Figura 17 - (a) Bloco cerâmico. (b) Bloco de concreto.

Concluído o estudo piloto proposto, desenvolveram-se os protótipos de diferentes conformações e materiais construtivos, conforme descrito a seguir.

3.2 Objetos de estudo

Neste trabalho houve a necessidade de simular condições reais de umidade accidental. Andolfato (2002) descreve que um modelo é qualquer representação física de uma estrutura ou porção dela. O modelo é usualmente construído em escala reduzida e frequentemente representa uma parte de uma estrutura específica.

Não foi possível elaborar modelos reduzidos de paredes e lajes neste trabalho pelo fato de não existirem medidas padrões para tais elementos construtivos. Os mesmos têm suas dimensões fornecidas no projeto arquitetônico. Com base nesta informação, desenvolveram-se partes destes elementos e convencionou-se chamá-los de protótipos, os quais serão apresentados na sequência do trabalho.

Para elaboração dos protótipos das paredes e da laje, que foram os objetos de estudo deste trabalho, foi necessária a caracterização dos materiais utilizados na fabricação dos mesmos, para posterior execução.

3.2.1 Caracterização dos materiais utilizados

Os materiais utilizados nos protótipos verticais (paredes) e horizontal (laje) estão descritos a seguir, sendo: aglomerantes, agregados, tijolos e tubulações.

a) Aglomerantes

O cimento utilizado em todos os protótipos foi o Portland pozolânico CP IV-32. A escolha deste material foi baseada no fato de ser o tipo mais utilizado em construções locais. A tabela 5 apresenta as características físicas e químicas do aglomerante.

Tabela 5 – Características químicas e físicas do Cimento Portland pozolânico CP IV-32.

Análise química	Abreviação	(%) em massa
Sílica	SiO ₂	36,51
Óxido de cálcio	CaO	34,07
Alumina	Al ₂ O ₃	11,80
Óxido de magnésio	MgO	4,91
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	4,42
Trióxido de enxofre	SO ₃	2,54
Resíduo insolúvel	RI	40,33
Perda ao fogo	PF	3,57
Análise física	Unidade	
Peneira #200 (0,075mm)	%	0,14
Peneira #325 (0,045mm)	%	1,11
Área específica – Blaine	m ² /kg	575,20
Tempo de início de pega	min	166,95
Análise mecânica	Unidade	
Resistência à compressão 3 dias	MPa	18,20
Resistência à compressão 7 dias	MPa	22,54
Resistência à compressão 28 dias	MPa	34,67

Fonte: fornecidos pelo fabricante (VOTORAN).

O outro aglomerante utilizado nos protótipos foi a cal hidratada e, também, sua escolha foi baseada na sua larga utilização. A tabela 6 apresenta as características físicas e químicas fornecidas pelo fabricante do material.

Tabela 6 - Características químicas e físicas da cal hidratada CH III.

Análise química	Abreviação	(%) em massa
Perda ao fogo	PF	27,40
Resíduo insolúvel	RI	4,90
Anidrido carbônico	CO2	6,60
Análise física		
Peneira #30	0,600mm	0
Peneira #200	0,075mm	13,10

Fonte: fornecidos pelo fabricante (ITAÚ).

b) Agregados

Os agregados, miúdo e graúdo, foram adquiridos em comércio local e submetidos aos seguintes ensaios de caracterização: absorção, análise granulométrica, massa específica e índice de vazios. Todos os ensaios seguiram as indicações das normas brasileiras vigentes. As normas utilizadas para execução destes ensaios estão na tabela 7.

Tabela 7 - Normas utilizadas para execução dos ensaios de caracterização dos agregados.

Parâmetro analisado	Norma	
	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Absorção	NBR NM 30 (ABNT, 2001)	NBR 53 (ABNT, 2009)
Massa específica real	NBR 9775 (ABNT, 2011)	
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	
Módulo de finura		
Diâmetro máximo		

Os resultados da caracterização do agregado miúdo estão apresentados na tabela 8, com sua respectiva curva granulométrica apresentada na figura 18. Na tabela 9 e na figura 19 estão mostrados os resultados do agregado graúdo.

Tabela 8 – Caracterização do agregado miúdo (areia).

Características físicas do agregado miúdo		
Tipo de ensaio	Resultados	
Composição granulométrica	Peneiras	Retido acumulado (%)
	4,75	1,129
	2,36	14,443
	1,18	45,7435
	0,600	66,4075
	0,300	76,046
	0,150	96,082
	Fundo	99,879
	Ø máx (mm)	0,6
	Módulo de Finura	2,99
Massa específica real (g/cm ³)	2,81	
Massa específica unitária (g/cm ³)	1,88	
Índice de volume de vazios (%)	33,70	
Absorção (%)	6,33	

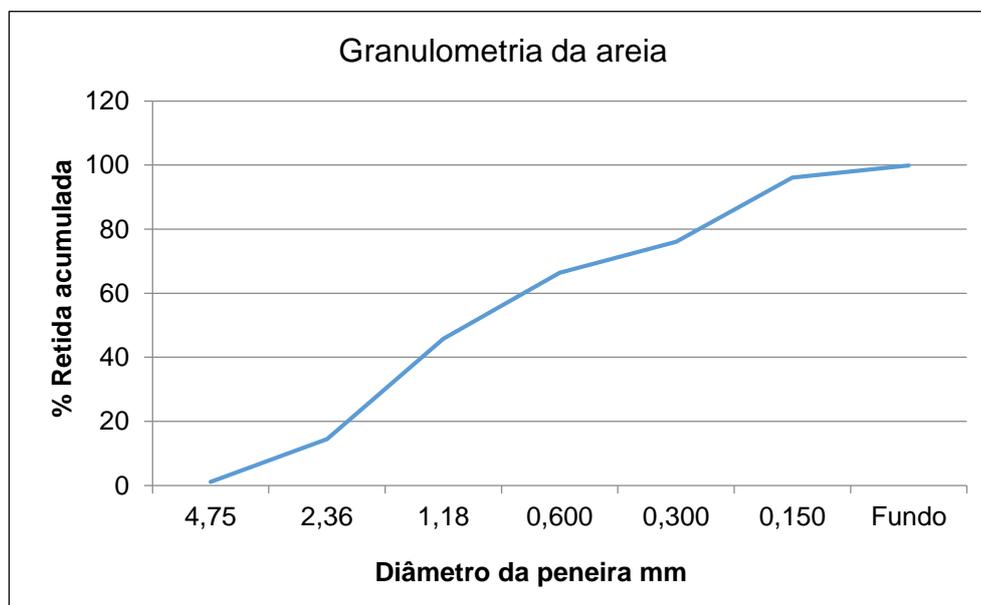


Figura 18 - Curva granulométrica da areia.

Tabela 9 - Caracterização do agregado graúdo (brita).

Características físicas do agregado miúdo		
Tipo de ensaio	Resultados	
Composição granulométrica	Peneiras	Retido acumulado (%)
	75	0
	36,5	0
	19	0
	9,52	21,07
	4,57	91,89
	Fundo	99,96
	Ø máx (mm)	9,5
	Módulo de Finura	1,13
Massa específica real (g/cm ³)	2,68	
Massa específica unitária (g/cm ³)	1,52	
Índice de volume de vazios (%)	43,28	
Absorção (%)	2	

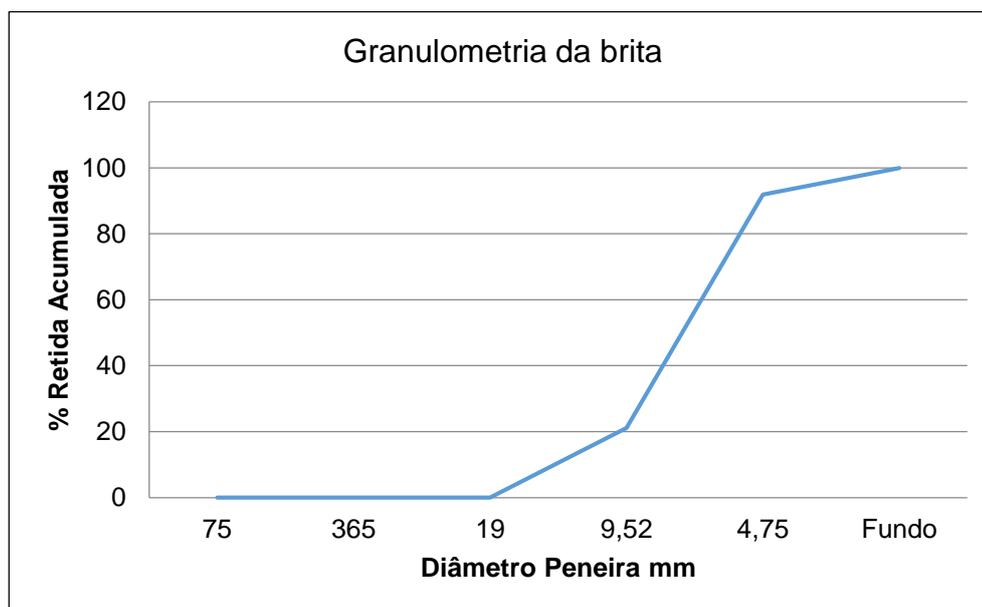


Figura 19 – Curva granulométrica da brita utilizada.

c) Tijolos

As alvenarias foram executadas com tijolos cerâmicos – maciços e furados –, conforme a tabela 10. No protótipo 1 o tijolo maciço foi assentado em sua maior dimensão para simulação de infiltrações em paredes externas. No protótipo 2 o mesmo tijolo foi assentado deitado para simular uma parede interna. Da mesma

forma foi feito com o tijolo de 6 furos. O tronco de parede externo foi construído com o tijolo deitado e para simulação de parede interna de tijolo furado o mesmo foi assentado a cutelo.

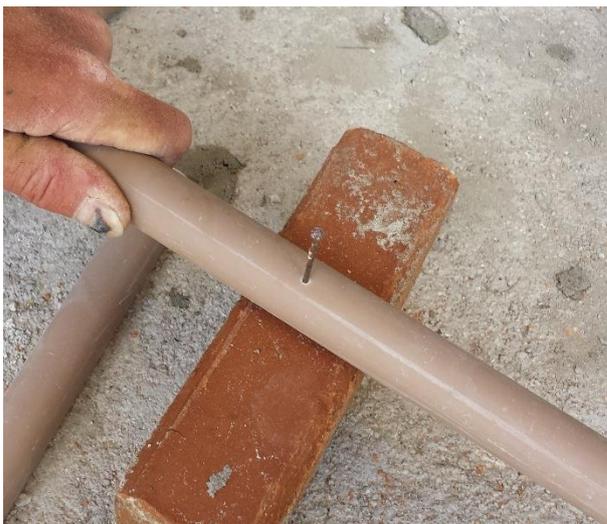
As propriedades foram fornecidas pelo fabricante do material, sendo a resistência à compressão de 10,41MPa, avaliação geométrica de 4,97cm e absorção de 9,03% para os tijolos maciços e resistência à compressão de 3,92MPa, avaliação geométrica de 8,83cm e absorção de 10,35% para os tijolos furados. Os laudos encontram-se no Anexo A.

Tabela 10 - Dimensão dos tijolos.

Protótipo	Tamanho do tijolo	Assentamento
1	Tijolo maciço 5x9x19cm	Deitado na maior dimensão
2	Tijolo maciço 5x9x19cm	Deitado na menor dimensão
3	Tijolo furado 6 furos 9x14x19cm	Deitado na menor dimensão
4	Tijolo furado 6 furos 9x14x19cm	A cutelo

d) Tubulações

Em todos os protótipos de fechamento vertical foram realizadas aberturas para a colocação de um cano de PVC com diâmetro de 20mm, propositalmente com dois furos, para simulação de infiltração (Figura 20a). Tais aberturas deram-se na mesma localização em todos os canos, 15cm acima de sua parte inferior e preenchidos com argamassa de emboço (Figura 20b). Após a perfuração, foi feito teste com água para verificar a saída do líquido (Figura 21).



(a) Furo no cano



(b) Posição do cano nos protótipos.

Figura 20 - preparação da tubulação para simular vazamento.



Figura 21 - Teste dos furos feitos na canalização.

Cabe salientar que em todos os canos foi colocado um tampão na parte inferior para que o vazamento se desse apenas no sentido longitudinal à parede, simulando assim os vazamentos mais comuns em tubulações de água fria.

e) Proporções dos materiais utilizados

As proporções de materiais (traços) utilizados para execução dos protótipos estão descritos na tabela 11.

Tabela 11 - Traços utilizados.

	Cimento	Cal hidratada	Areia	Brita	Fator a/c
Argamassa de assentamento	1	-	3		0,6
Argamassa de chapisco	1	-	4		1,0
Argamassa de esboço	1	2	9		0,6
Argamassa de reboco	-	1	3		0,7
Concreto	1		2	3	0,7

Ressalta-se que os traços das argamassas utilizadas foram definidos de acordo com recomendações práticas da NBR 13281 (ABNT, 2005). O concreto foi dosado para atingir uma resistência à compressão de 25MPa e a espessura utilizada foi de 10cm, de acordo com as recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Os protótipos utilizados para desenvolvimento deste trabalho foram divididos em dois grupos: fechamento vertical (paredes) e fechamento horizontal (laje). A seguir, os mesmos são descritos.

3.2.2 Tipos de protótipos

a) Fechamento vertical: Paredes

Neste grupo, foram elaborados protótipos de diferentes conformações, revestidos por reboco argamassado e pintura com tinta à base d'água e assentados diretamente em cima de um contrapiso de concreto armado com argamassa de assentamento. A escolha das características dos elementos deu-se em função de serem os tipos mais comuns de paredes encontradas no Brasil, de acordo com Costa (2013). As características das mesmas encontram-se na tabela 12.

Tabela 12 - Protótipos construídos.

	Espessura da parede	Sistema construtivo	Foto
Protótipo 1	24cm	Tijolo maciço deitado na maior dimensão	Figura 22a
Protótipo 2	14cm	Tijolo maciço deitado na menor dimensão	Figura 22b
Protótipo 3	19cm	Tijolo furado deitado	Figura 23a
Protótipo 4	14cm	Tijolo furado a cutelo	Figura 23b
Protótipo 5	10cm	Concreto armado	Figura 24



(a)



(b)

Figura 22 – (a) Protótipo 1. (b) Protótipo 2.



(a)



(b)

Figura 23 – (a) Protótipo 3. (b) Protótipo 4.



Figura 24 - Protótipo 5.

Nas figuras 25 e 26 pode-se observar as fases de construção dos protótipos 1, 2, 3 e 4, com assentamento dos tijolos, chapisco, reboco e pintura. Os materiais utilizados para assentamento dos tijolos, chapisco e pintura foram os mesmos para todos os protótipos, a fim de evitar distorção de resultados.



(a)



(b)

Figura 25 – (a) Assentamento dos tijolos. (b) Chapisco dos modelos.



(a)



(b)

Figura 26 – (a) Reboco dos modelos. (b) Pintura.

O protótipo 5 foi produzido em concreto armado, com resistência à compressão de 25MPa. Este valor foi baseado na NBR 6118 (ABNT, 2014), por ser região urbana, com agressividade ambiental moderada e risco pequeno de deterioração. A parede possui dez centímetros de espessura e foram inseridas barras de ferro no contrapiso de concreto para ancoragem do protótipo com o piso existente, conforme mostra a figuras 27a e b. Este protótipo foi utilizado por caracterizar diversos empreendimentos que têm utilizado esta técnica construtiva, de paredes de concreto.

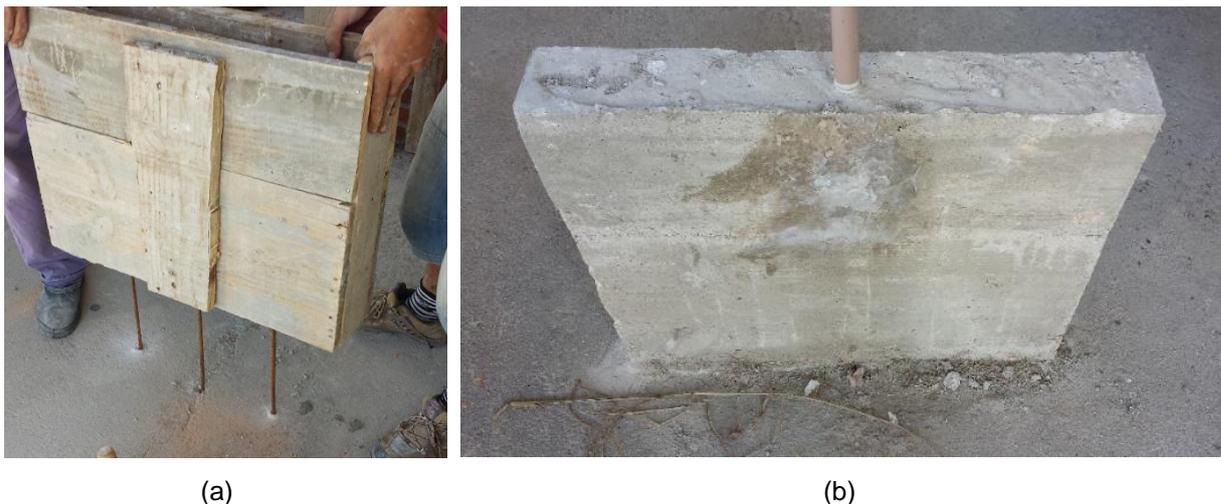


Figura 27 – (a) Forma para parede de concreto. (b) Parede acabada.

b) Fechamento horizontal: Lajes

Para simulação de umidade acidental horizontal – simulando uma laje sem impermeabilização, piso e pintura e com uma lâmina d'água na cobertura –, foi executada uma laje de concreto armado com resistência de 25Mpa com estrutura hidráulica e elétrica embutida e sem danificação proposital, a fim de simular uma laje de residência, conforme mostrado na figura 28.



Figura 28 - Protótipo de laje sendo concretada.

A laje possuiu dimensões de 75x50cm, 10cm de espessura, foi armada com aço CA-50 com diâmetro de 6,3mm, apoiada sobre paredes de alvenaria e para que

a lâmina d'água se mantivesse constante foi executada uma platibanda de tijolos cerâmicos devidamente impermeabilizada com silicone. A figura 29 mostra o processo de concretagem e a figura 30 uma ilustração esquemática da laje construída.



Figura 29 - Concretagem do protótipo.

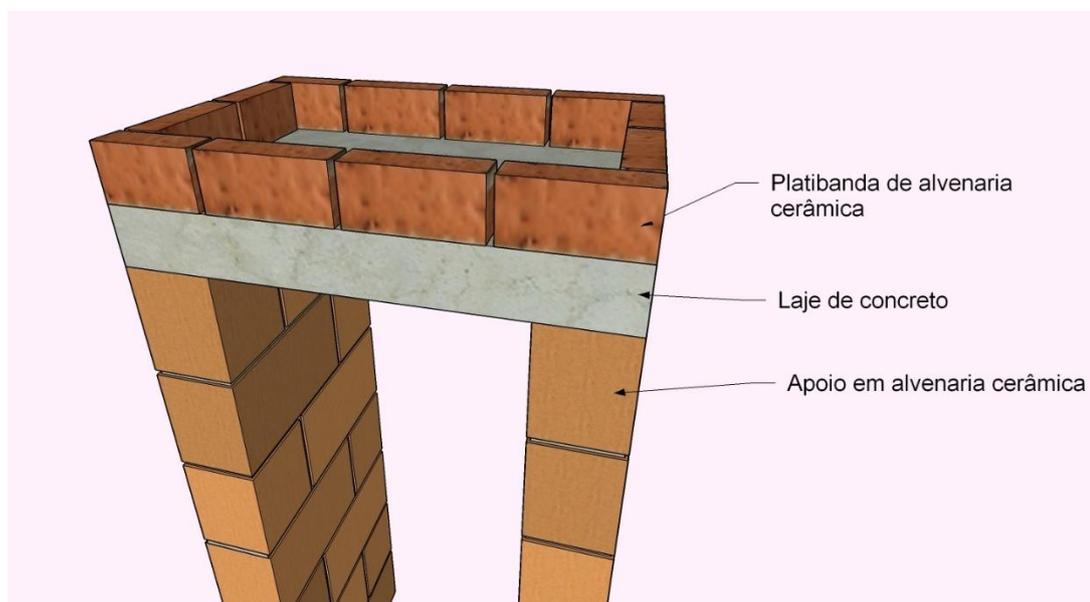


Figura 30 – Ilustração esquemática do protótipo de laje.

3.2.3 Avaliação dos protótipos

Depois de 28 dias da concretagem da parede e da laje se deu a desforma dos protótipos como orienta a NBR 6118 (ABNT, 2014). Concomitante a este processo ocorreu a secagem do reboco dos protótipos de alvenaria, seguidos do preparo de sua superfície, pintura com tinta branca à base d'água e sua respectiva secagem. Todos os protótipos foram construídos em local aberto com cobertura, ou seja, foram submetidos à ação de vento, umidade e incidência solar, porém não receberam ação da chuva.

A coleta de dados foi realizada conforme tabela 13.

Tabela 13 - Cronograma de medições.

1ª medição	Protótipos secos, sem água (28 dias)
Inserção de água	
2ª medição	10min após
3ª medição	20min após
4ª medição	30min após
5ª medição	40min após
6ª medição	50min após
7ª medição	60min após
8ª medição	24h após
9ª medição	48h após
10ª medição	72h após
11ª medição	1 semana após
12ª medição	2 semanas após

A figura 31 apresenta os protótipos recebendo água para início do processo de avaliação.



Figura 31 – (a) Inserção de água no protótipo horizontal. (b) Inserção de água no protótipo de parede.

O protótipo horizontal recebeu uma lâmina de água de um centímetro de altura – a aplicação foi feita com mangueira plástica – para verificação das possíveis consequências relacionadas à infiltração. Considerando que o protótipo foi construído com as dimensões de 75x50cm, resultando em 0,375 metros quadrados – e com um centímetro de lâmina d'água –, conclui-se que a laje ficou submetida à ação de aproximadamente 0,00375 metros cúbicos de água. Reposições de água foram feitas sempre que o nível da mesma diminuía, variando a quantidade e periodicidade de acordo com os níveis de umidade relativa do ar e temperatura ambiente (fatores preponderantes para a evaporação da água do local).

Os protótipos verticais foram cheios de água manualmente – através de uma garrafa plástica, afim de que não houvesse vazamentos para a superfície das paredes – e monitorados diariamente afim de que o nível de água se mantivesse sempre no topo da canalização. Não se constatou regra para o abastecimento dos mesmos, uma vez que os canos das quatro paredes perdiam água de forma não uniforme. Salienta-se que, diariamente foi feita manutenção da água nos canos com o intuito de que, durante todo o processo, nenhum cano ficasse vazio.

Em cada uma das medições foi realizada uma fotografia de luz visível e uma imagem termográfica para análise do comportamento das temperaturas superficiais dos protótipos sujeitos à ação de umidade acidental. No protótipo de laje as fotografias foram tiradas sempre da sua parte inferior para verificação da ação da água inserida na parte superior em forma de umidade, e nos protótipos verticais a

fotografia foi tirada na mesma posição sempre um metro distante das paredes para que não houvesse perda e/ou distorção de informações decorrentes destas variações.

3.2.4 Indicadores do experimento

Para medição da eficiência e viabilidade da aplicação da metodologia proposta, foram elaborados alguns gráficos indicadores do comportamento dos processos executados neste trabalho. Foram medidos os índices de manchas de umidade nas paredes para verificar a relação entre a dimensão das mesmas em relação ao tempo decorrido de infiltração, estabelecida relação da temperatura ambiente com a variação de temperatura superficial dos protótipos com o intuito de verificar se tais valores se manteriam constantes ou haveria variação – com ou sem uniformidade e foi feito também o estudo da relação da temperatura ambiente com a variação de temperatura superficial dos protótipos com o objetivo de analisar se haveria proporcionalidade entre as temperaturas ambientes e as variações superficiais apresentadas pelos modelos de parede e cobertura.

O próximo capítulo irá dissertar sobre os resultados obtidos nesta pesquisa.

4. Resultados e discussões

Este capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados atingidos nesta pesquisa.

4.1. Resultados do estudo piloto

No estudo piloto, conforme descrito no capítulo 3, foram avaliados três parâmetros: distância do objeto à câmera termográfica, angulação do equipamento em relação à superfície e emissividade do aparelho.

Cabe ressaltar que a câmera termográfica possui um intervalo de temperatura – definido pelo equipamento – onde a região mais avermelhada representa a maior temperatura superficial e a região mais azulada a menor temperatura superficial encontrada.

4.1.1. Parâmetro 1: distância da câmera ao objeto

As três distâncias avaliadas foram 3, 5 e 10m. A figura 32 apresenta o resultado de 10m. Analisando a imagem é possível observar que, em ambos os lados do portão da garagem há variações significativas de temperatura. Enquanto a maior parte da alvenaria apresenta temperaturas na faixa dos 24°C, há duas áreas que apresentam mais de 26°C de temperatura superficial (regiões avermelhadas ao redor do portão da garagem).

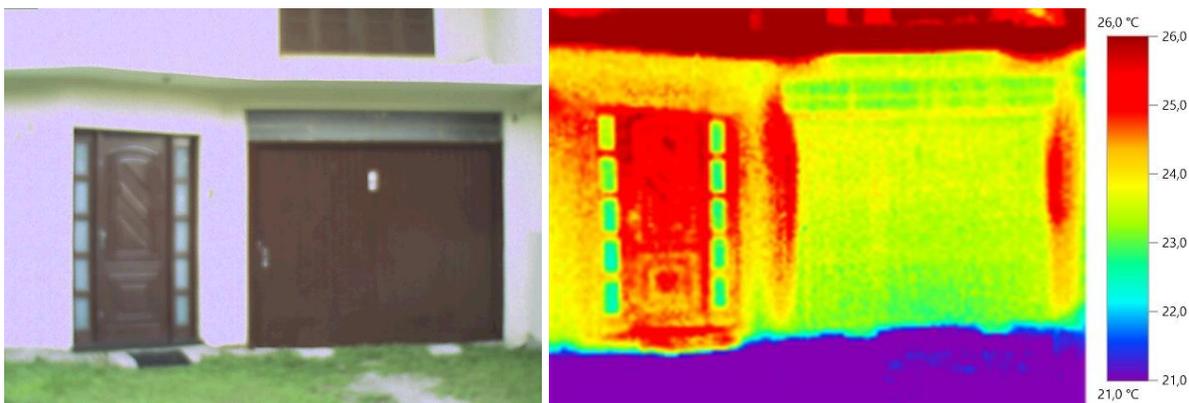


Figura 32 - Imagem e termograma da fachada a 10m.

No termograma captado a 5 metros de distância da fachada (Figura 33), observa-se semelhança entre 10m e 5m. Desta maneira é possível visualizar que não há distorção de informações do termograma de 10m para de 5 m.

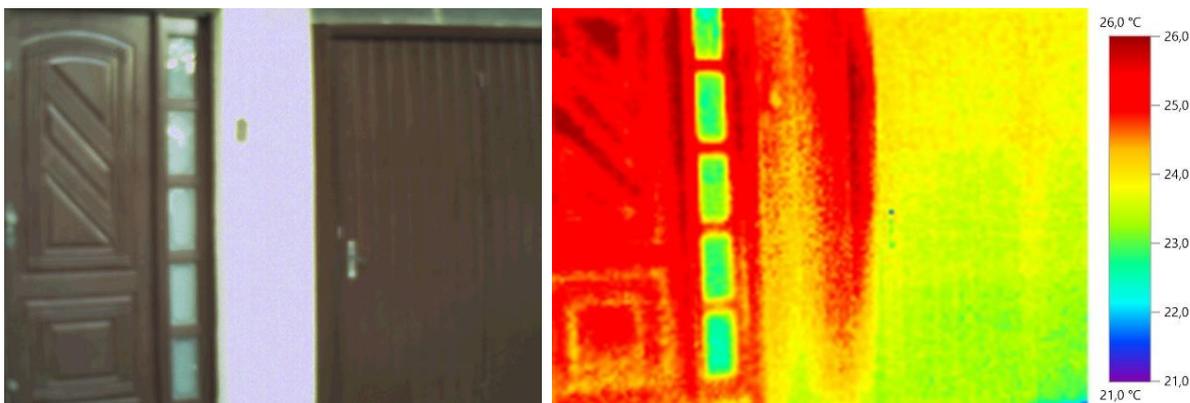


Figura 33 - Imagem e termograma da fachada a 5m.

Com a câmera posicionada a 3 metros de distância da fachada, os resultados termográficos foram praticamente os mesmos, conforme mostra a figura 34.

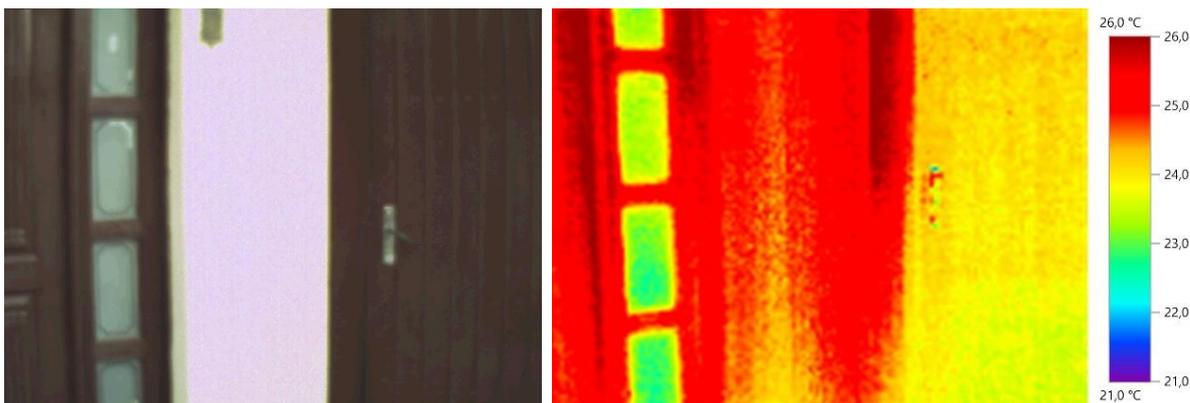


Figura 34 - Imagem e termograma da fachada a 3m.

Tanto a temperatura próxima dos 22,5°C apresentada pelos vidros da porta, como a faixa de 24°C (região amarelada) e dos 26°C (região avermelhada) mantiveram-se iguais nas três distâncias avaliadas.

4.1.2. Parâmetro 2: angulação do equipamento em relação à superfície

As três angulações avaliadas foram: 90°, 45° e 30°, todas em relação ao eixo horizontal, conforme já explicado no capítulo anterior. A figura 35 mostra o termograma com a câmera posicionada a 90°. Observa-se que os valores de temperatura superficial variam de aproximadamente 20 a 26°C, como mostra a escala de cores à direita da ilustração. A grama observada na fotografia de luz visível apresenta temperatura próxima de 21,5°C enquanto a parte de baixo da residência registra temperatura de 23,5°C.

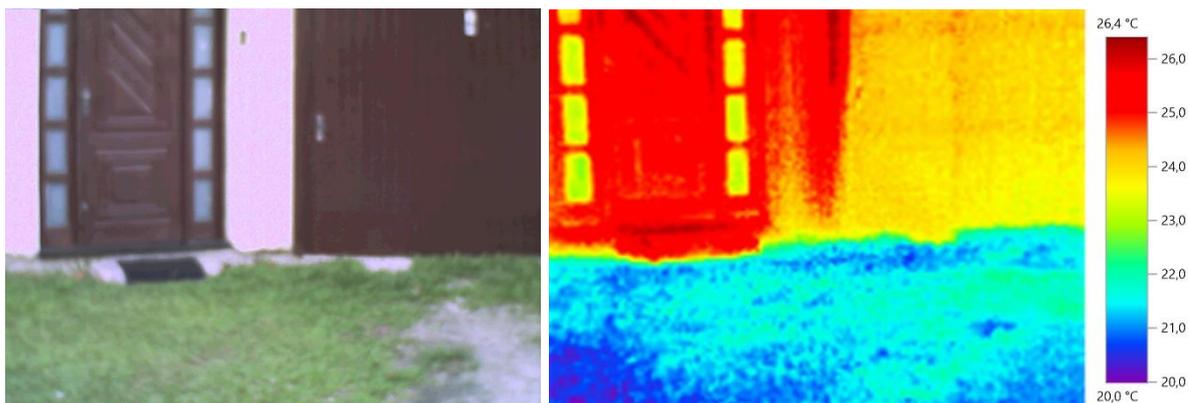


Figura 35 - Imagem e termograma com angulação de 90°.

Na imagem registrada com o equipamento a 45° da fachada (Figura 36), o resultado termográfico foi bastante semelhante ao anterior.

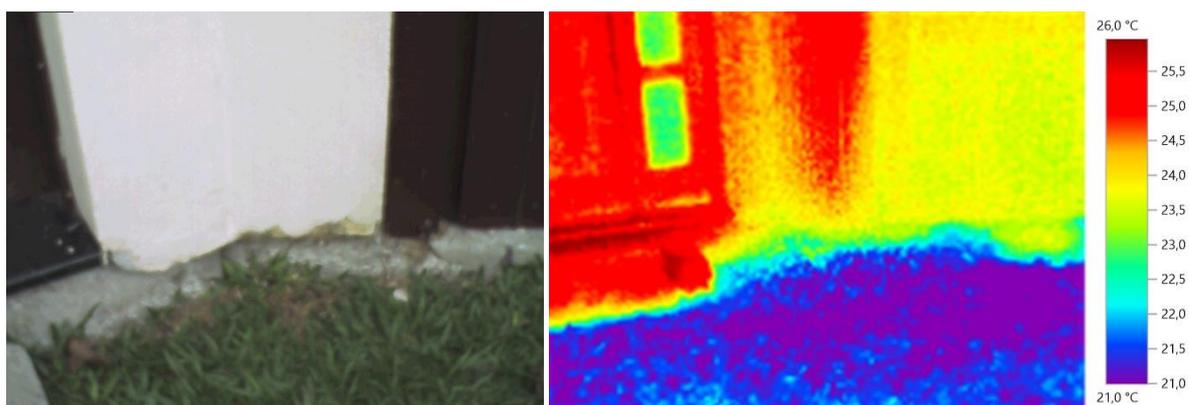


Figura 36 - Imagem e termograma com angulação de 45°.

Por fim, o mesmo se pode observar na fotografia com ângulo de 30° (Figura 37). Não há distorção nem alteração de resultado influenciada pela angulação da câmera termográfica em relação à superfície analisada.

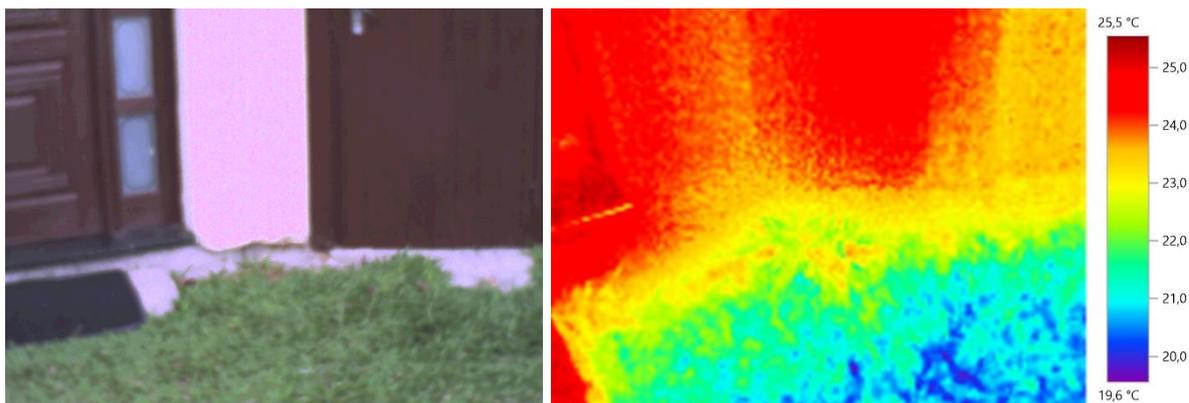


Figura 37 - Imagem e termograma com angulação de 30°.

4.1.3. Parâmetro 3: emissividade do material

Como já descrito, este parâmetro foi avaliado em um bloco cerâmico e um bloco de concreto com quatro valores de emissividade: 0,62, 0,85, 0,91 e 0,95. As análises foram realizadas com os intervalos entre as temperaturas mínimas e máximas obtidas em cada captura, bem como as cores resultantes em cada imagem.

Após a comparação da variação de temperatura de cada material, foi observado que as imagens finais são semelhantes. Com os diferentes valores de emissividade, os valores de temperaturas médias e máximas variam consideravelmente, mas o intervalo entre estas segue semelhante, gerando assim, imagens com cores parecidas, conclusões estas que estão de acordo com estudo de Hart (1991), Gaussorges (1999) e Barreira et al. (2012).

As figuras 38, 39, 40 e 41 mostram dois exemplos de imagem térmica no corpo cerâmico e de concreto, respectivamente. A tabela 14 mostra todos os dados coletados.

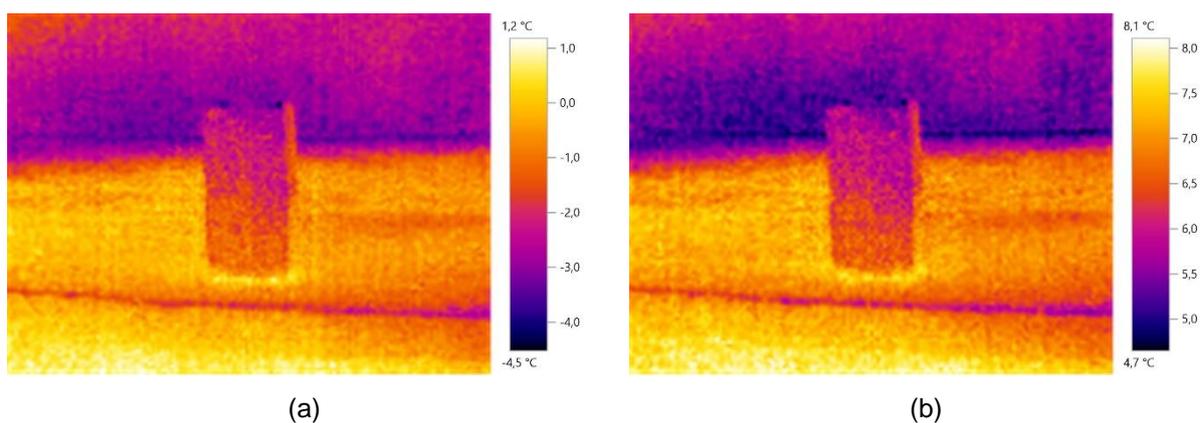


Figura 38 – Imagem térmica de um corpo cerâmico com variação de emissividade: (a) 0,62 e (b) 0,85.

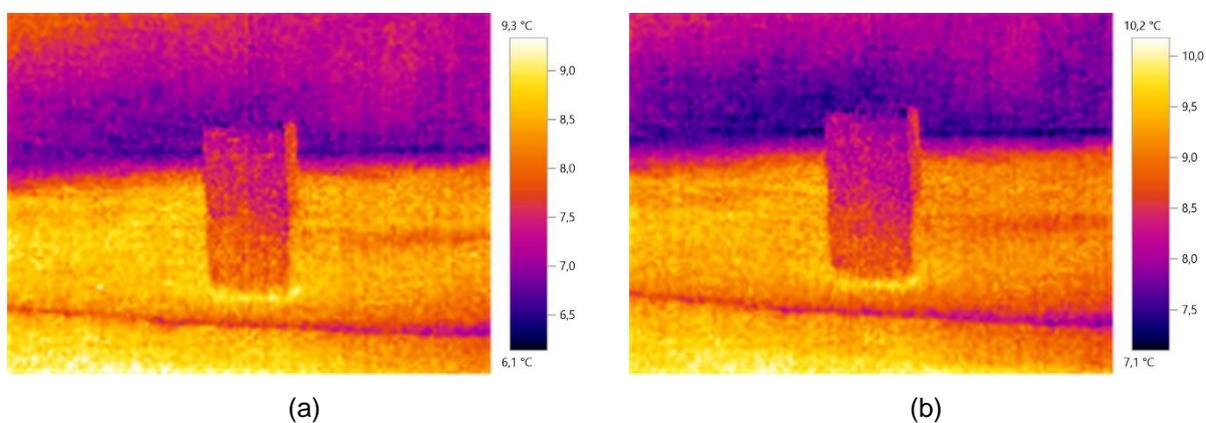


Figura 39 - Imagem térmica de um corpo cerâmico com variação de emissividade: (a) 0,91 e (b) 0,95.

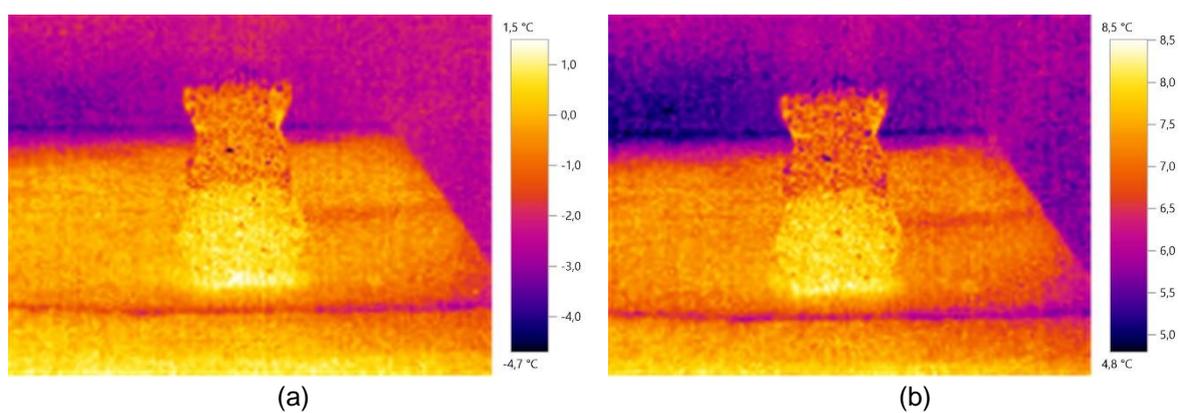


Figura 40 - Imagem térmica de um corpo de concreto com variação de emissividade: (a) 0,62 e (b) 0,85.

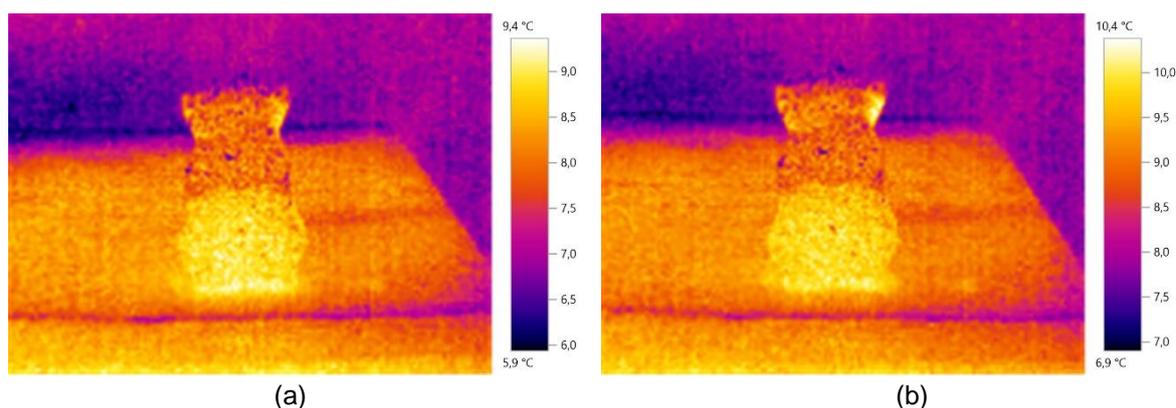


Figura 41 - Imagem térmica de um corpo de concreto com variação de emissividade: (a) 0,91 e (b) 0,95.

Tabela 14 - Temperaturas registradas com a Câmera Termográfica.

Emissividade	Temp. Cerâmica (°C)				Temp. Concreto (°C)			
	Mínima	Máxima	Intervalo	Temp. ambiente	Mínima	Máxima	Intervalo	Temp. ambiente
0,62	-3,8	3,1	6,9	10,8	-3,7	3,0	6,7	10,8
0,85	4,6	9,3	4,7	10,8	4,8	9,5	4,7	10,8
0,91	6,1	11,6	5,5	10,8	6,2	11,0	4,8	10,8
0,95	6,5	11,7	5,2	10,8	6,5	10,9	4,4	10,8

Verifica-se que os valores de temperaturas registrados têm considerável diferença de acordo com o valor de emissividade. No entanto, como foi observado, as variações entre as temperaturas se mantêm semelhantes.

A partir da comparação das imagens térmicas resultantes das capturas com os corpos de estudo, pode-se observar que, apesar da diferença de valor das emissividades, os intervalos de temperaturas mantem-se semelhantes. Visto isso, conclui-se que a variação na configuração de emissividade não influi no resultado do presente estudo, visto que este tem como objetivo uma análise qualitativa das imagens termográficas através da variação de temperatura superficial dos corpos analisados.

A partir dos dados obtidos no estudo piloto, pode-se que concluir que os três parâmetros avaliados, distância do objeto à câmera termográfica, angulação do equipamento em relação à superfície e emissividade do material, não influem nos resultados qualitativos das imagens termográficas. As configurações pré-estabelecidas darão suporte a uma análise confiável das manifestações patológicas nas fachadas das edificações, uma vez que pode-se notar que a maior fidelidade

das temperaturas refletidas acontece quando o aparelho está configurado com o valor de 0,95 para emissividade, conforme os estudos de Mario (2011) e Barreira et. al (2012).

4.2. Resultados dos protótipos

Inicialmente serão apresentados os resultados obtidos nos protótipos, e após, uma análise individual e comparações com os dados obtidos.

4.2.1. Protótipo 1

A figura 42 ilustra o protótipo 1 (24cm de espessura – tijolo maciço 5x9x19cm) seco (primeira imagem realizada). O protótipo apresenta temperatura uniforme, em torno de 23,2°C, confirmando que está seco, sem infiltração de água. Para o melhor entendimento, em todas as figuras de fotografia a luz visível há um ponto vermelho indicando o local onde está localizada a perfuração do cano.

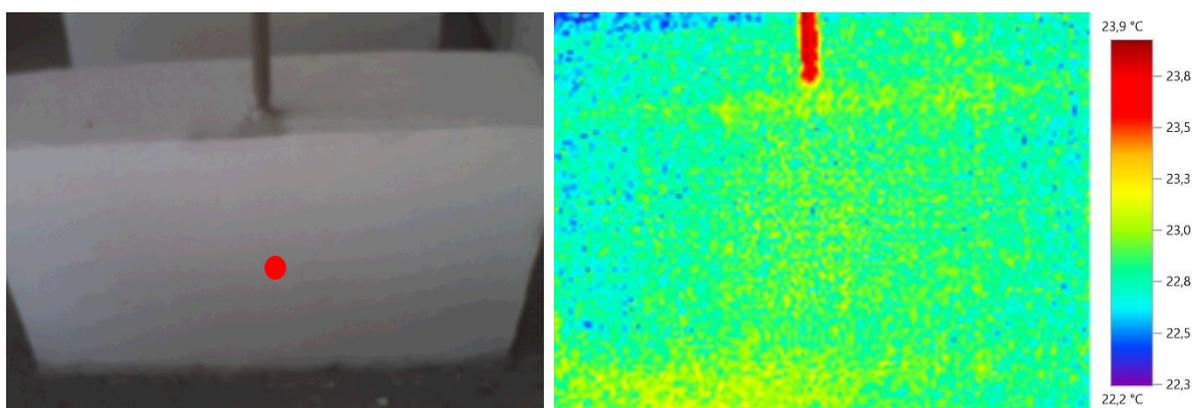


Figura 42 - Protótipo 1 seco.

Após as fotografias do protótipo seco, o cano instalado foi preenchido com água para que, a partir de então, o local fosse monitorado de acordo com o processo

de medição definido e já exposto. Passados dez minutos após a inserção de água a imagem termográfica não apresentou sinais de infiltração, conforme a figura 43.

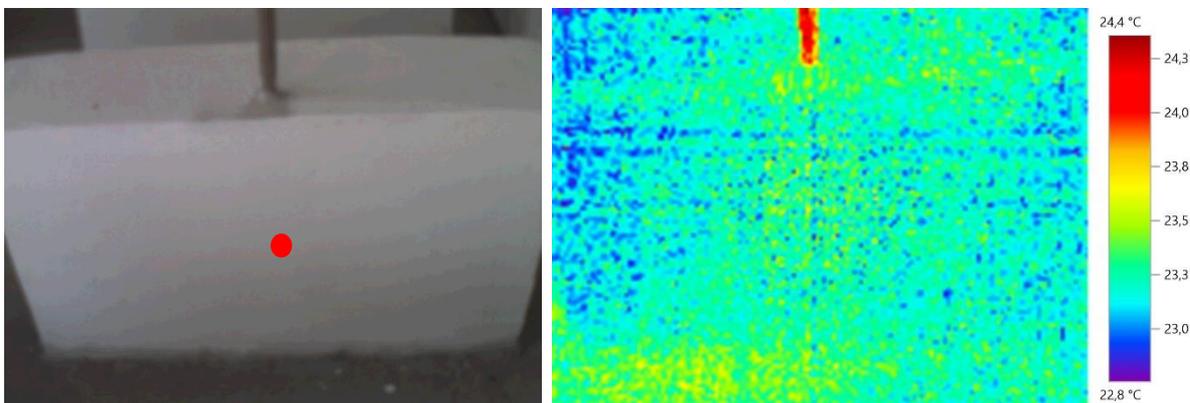


Figura 43 - Protótipo 1 com 10min de exposição à água.

As medições intermediárias 2^a, 3^a e 4^a, que foram com intervalo de 10 min, não apresentaram diferença significativa nas imagens. A partir da 5^a medição, com 40 minutos de infiltração no protótipo, a imagem termográfica começa a sofrer alterações em relação à primeira medição, enquanto que o tronco de parede não apresenta nenhuma manifestação patológica oriunda de umidade acidental detectável a luz visível (Figura 44).

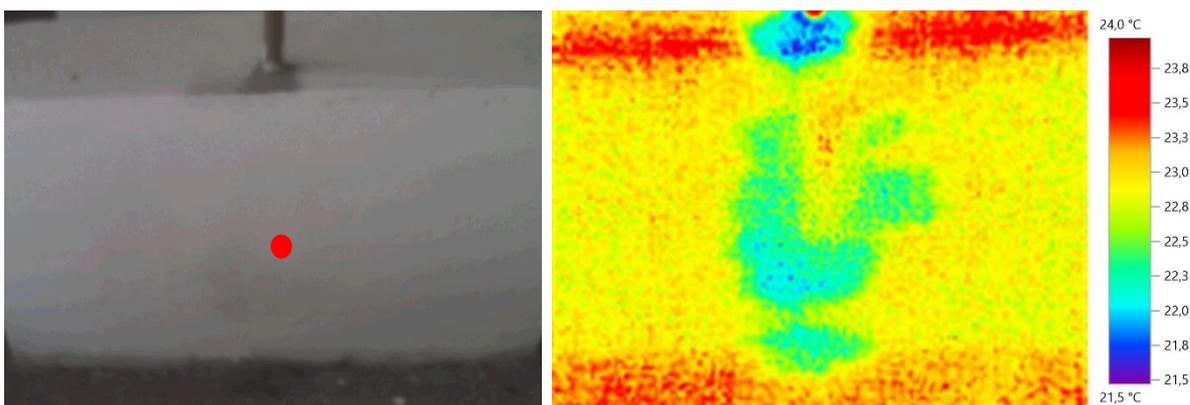


Figura 44 - Protótipo 1 com 40min de exposição à água.

A 7^a medição, última da escalada de dez em dez minutos, e realizada 60 minutos depois da infiltração proposital, resulta em uma evolução do comportamento do protótipo 1, conforme a figura 45.

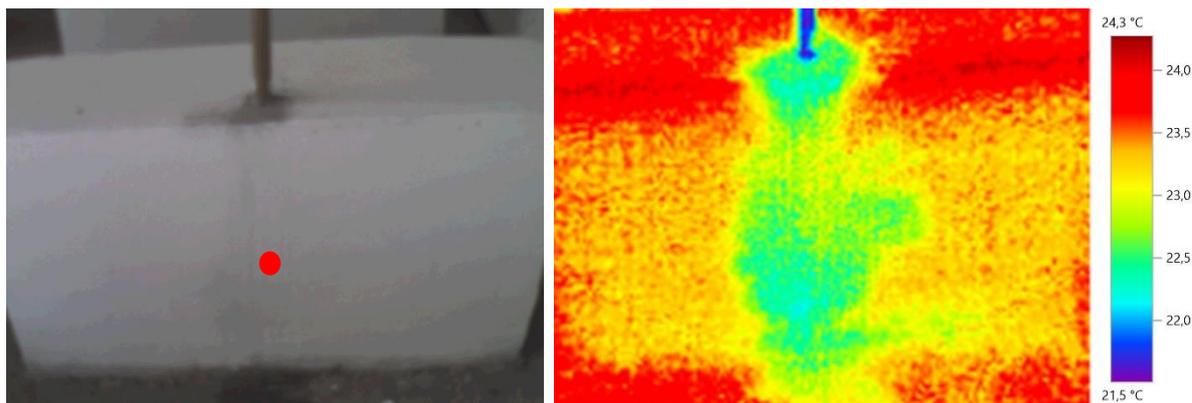


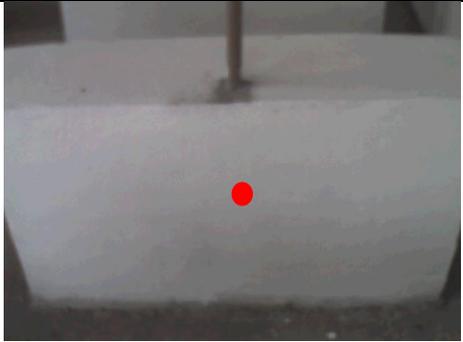
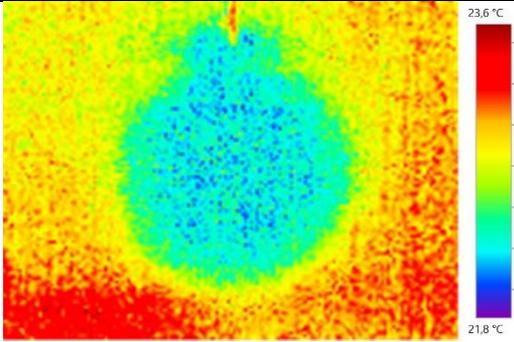
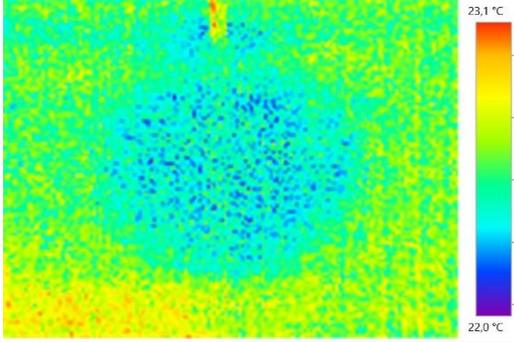
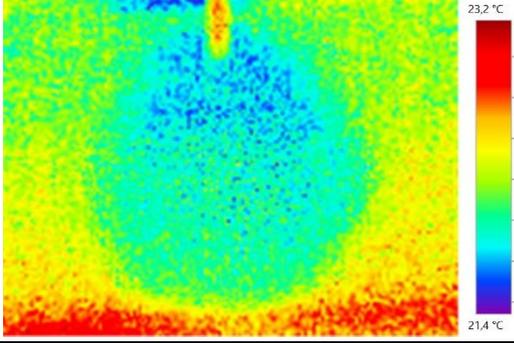
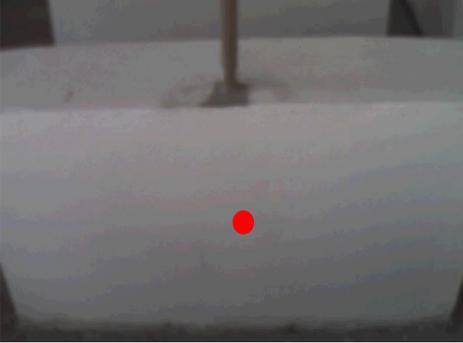
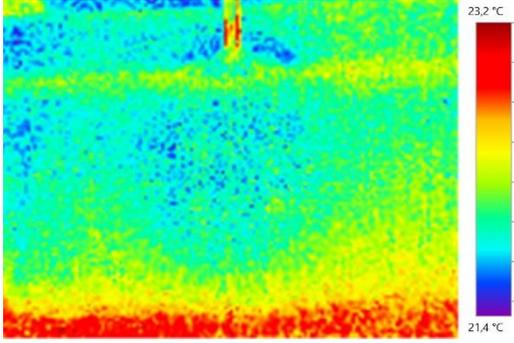
Figura 45 - Protótipo 1 com 60min de exposição à água.

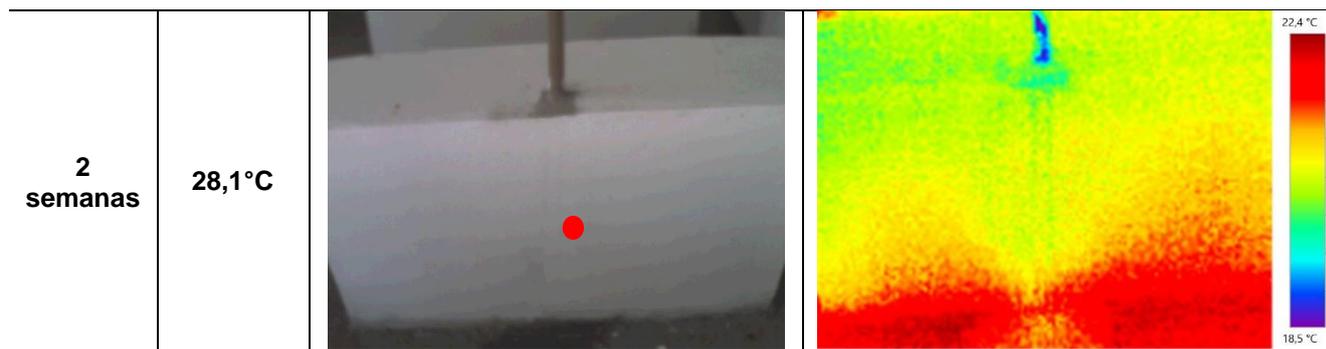
Pode-se notar que a mancha azul aos 60 minutos de infiltração se apresenta um pouco maior e mais uniforme, ilustrando a evolução da água infiltrada no tronco de parede. É válido ressaltar também que, mesmo percebendo-se evolução da ação da água no modelo através da termografia, não há nenhum indício de tal comportamento quando a análise é feita apenas através da fotografia tradicional.

Também vale a discussão de que a diferença de temperatura entre os materiais começa a se tornar visível e de fácil identificação da área onde o cano (material PVC) cheio de água está localizado.

A tabela 15 apresenta as imagens das leituras de 24, 48 e 72 horas, e posteriormente de 1 e 2 semanas. A sequência total das fotos encontra-se no Apêndice A.

Tabela 15 - Leituras do protótipo 1 em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas.

Tempo de leitura	Temp. ambiente	Protótipo 1	
		Luz visível	Termografia
24 h	28,1°C		
48 h	27,4°C		
72 h	27,1°C		
1 semana	29,3°C		



Na leitura das 24h de experimento já se pode identificar um bulbo que delimita a diferença de temperatura e de localização do furo no cano, enquanto que uma semana após o início, a variação de temperatura já está distribuída de forma mais uniforme. Após duas semanas do início do processo de medição, observou-se que o método da termografia foi capaz de identificar vazamentos ocultos em parede com esse tipo de conformação e composição. Desde o início da infiltração até o final do processo, nada pode-se observar na parede fotografada a luz visível, pois a pintura permaneceu da mesma forma, diferentemente das imagens termográficas que apresentaram os locais onde a umidade agiu no protótipo de forma oculta.

4.2.2. Protótipo 2

O protótipo 2 (14cm de espessura – tijolo maciço 5x9x19cm) é apresentado na figura 46 antes da colocação de água. Sem apresentar variação de temperatura em sua superfície, percebe-se que não há sinais de infiltração no mesmo, confirmando situação real, sem água.

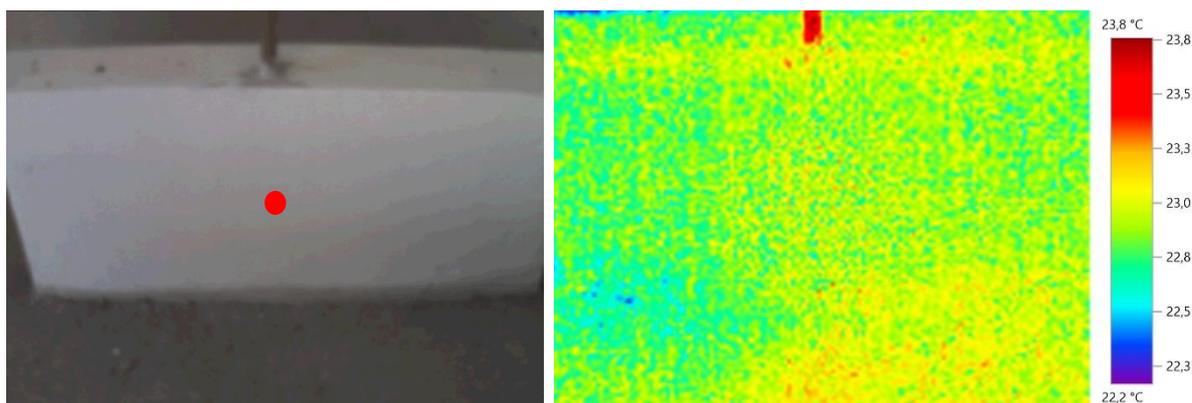
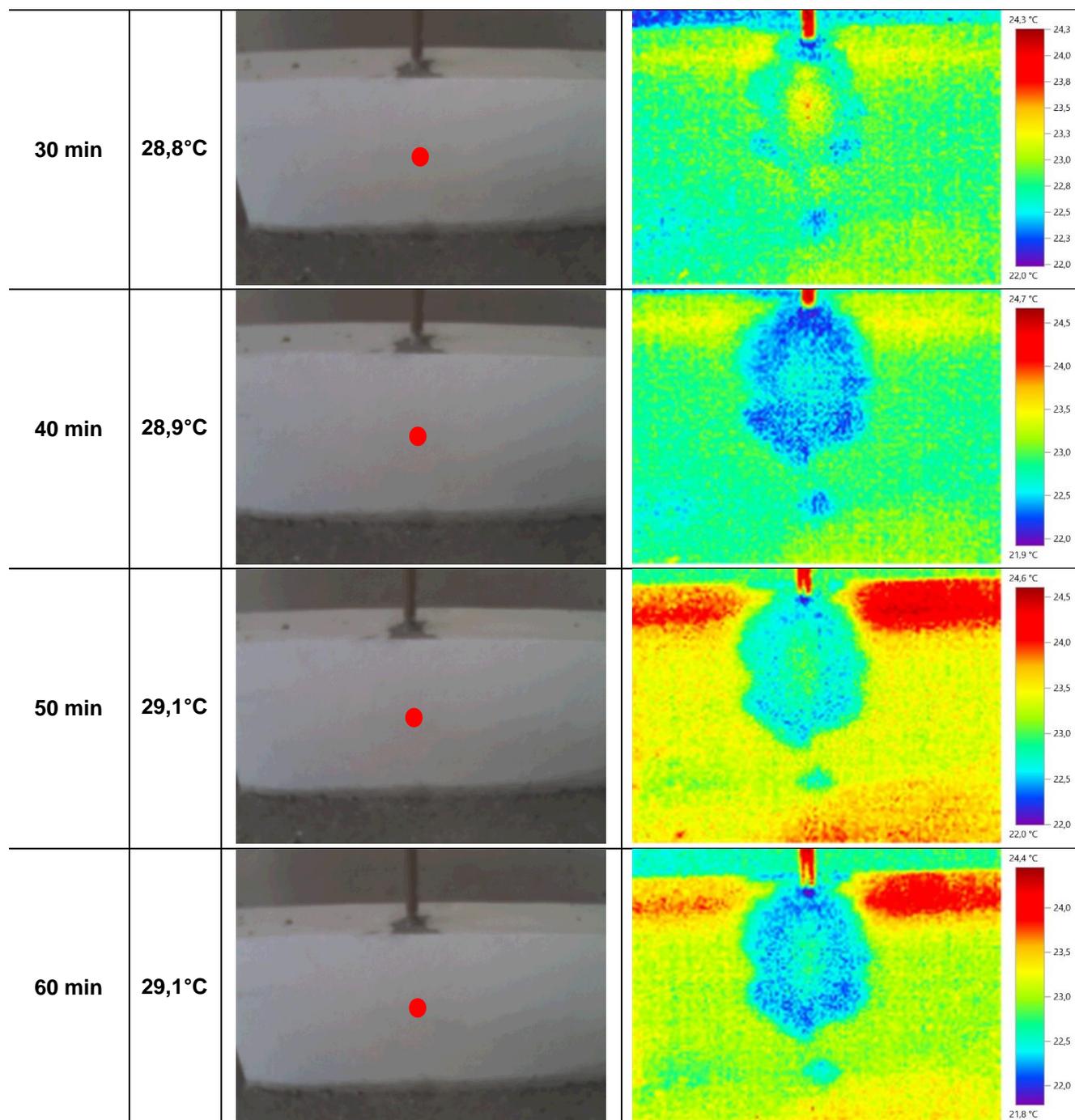


Figura 46 - Protótipo 2 seco.

A tabela 16 apresenta as medições de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos deste protótipo. Diferente do protótipo 1, o protótipo 2 marcou uma elevação de temperatura já na primeira leitura de 10 min, onde marca um trecho do cano. Tal fato ocorre, segundo Holst (2000) pois a parede está em processo de aquecimento, fazendo com que áreas úmidas gerem imagens quentes e áreas secas com imagem de áreas frias. Isto ocorre quando há um processo de aquecimento das paredes, porque a região com água se aquece mais rapidamente que a alvenaria seca.

Tabela 16 - Leituras do protótipo 2 na primeira hora.

Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo 2	
		Luz visível	Termografia
10 min	28,4°C		
20 min	28,4°C		

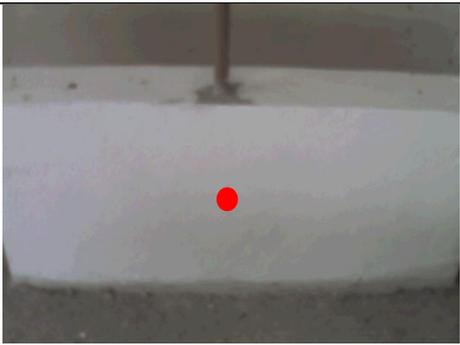
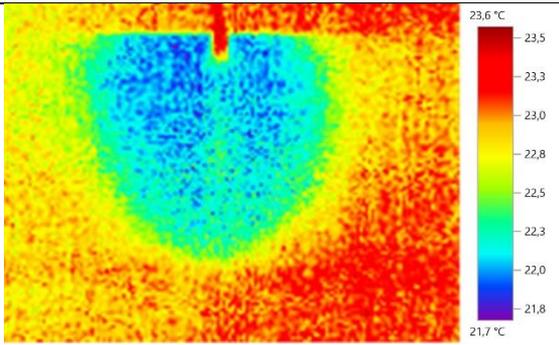
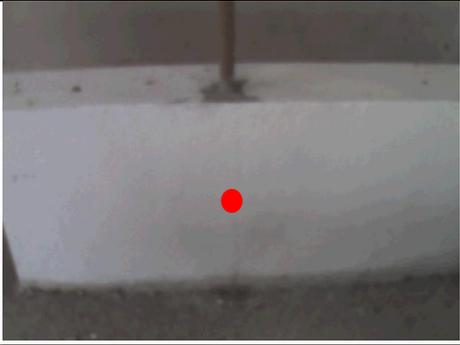
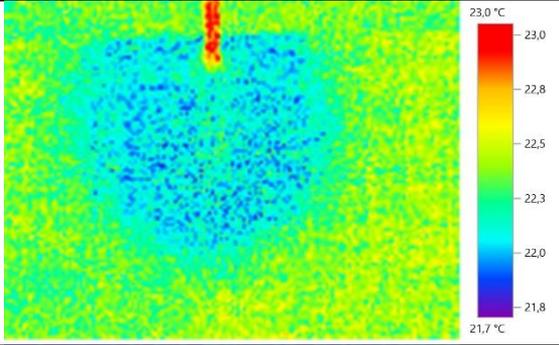
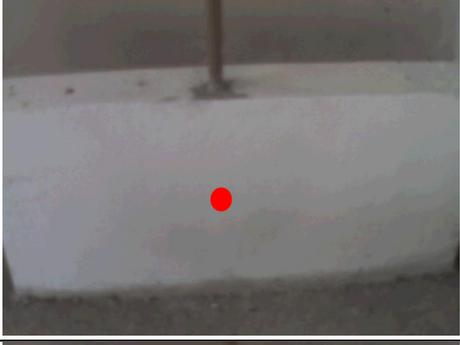
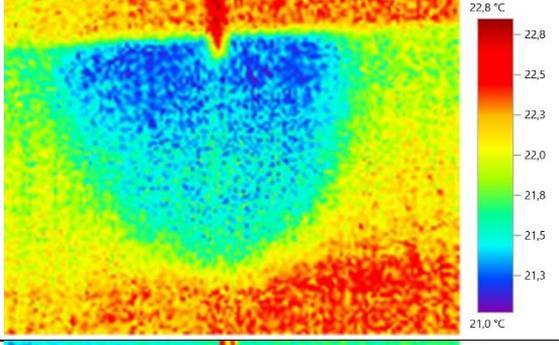
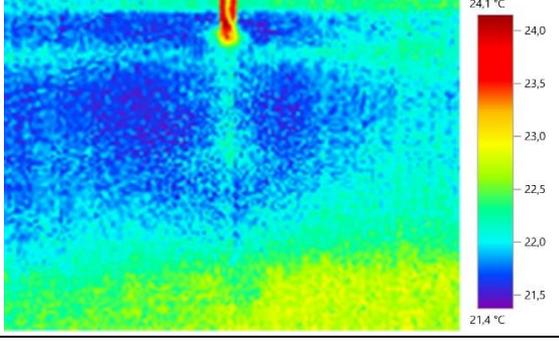


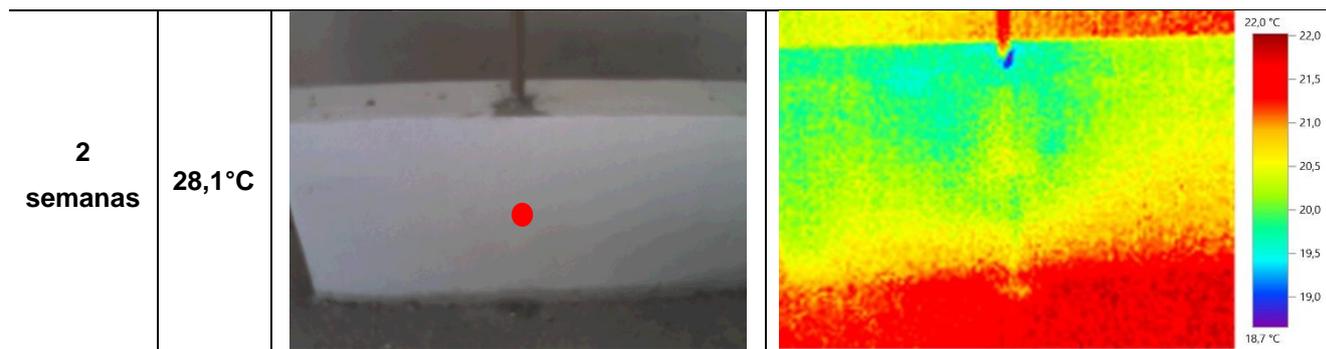
Ressalta-se que no protótipo 1 o bulbo que se forma surgiu após 24h, enquanto que no protótipo 2 já é possível identificá-lo na leitura de 40min.

A tabela 17 apresenta as leituras de 24, 48 e 72 horas, e após transcorridas uma e duas semanas. Na medição de 24 horas após a injeção de água, o resultado começa a evoluir – sempre de forma oculta – sem que a parede apresente qualquer sinal de manifestação patológica. Observa-se que a mancha colorida se expandiu de forma uniforme pelo protótipo 2 e ao redor do local em que o cano foi danificado, já na medição de 48 horas, com aumento da área de temperaturas mais baixas. Nas

leituras de 1 e 2 semanas o comportamento foi muito semelhante ao protótipo 1, sendo que em uma semana se generaliza a diferença de temperatura mais baixa e em 2 semanas a temperatura sobe.

Tabela 17 - Leituras do protótipo 2 em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas.

Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo 2	
		Luz visível	Termografia
24 h	28,1°C		
48 h	27,4°C		
72 h	27,1°C		
1 semana	29,3°C		



Para esta conformação de parede, a termografia foi capaz de identificar elementos causadores de manifestações patológicas oriundas de umidade acidental antes das mesmas manifestarem-se causando danos nos elementos construtivos atingidos por vazamentos.

Os dois protótipos já analisados foram executados com o mesmo tijolo (maciço), no mesmo dia e as leituras nos mesmos horários e, enquanto o protótipo 1 acusou infiltração através da imagem termográfica passados 40 minutos, o protótipo 2 mostrou a ação da umidade na medição, aos 30 minutos.

Enquanto o resultado da termografia não apresentou uniformidade para os dois protótipos, não se pode afirmar o mesmo ao se analisar as fotografias de luz visível. Nenhuma das duas paredes sofreu alteração em sua superfície em momento algum do processo de medição.

4.2.3. Protótipo 3

O protótipo 3 (19cm de espessura – tijolo 6 furos 9x14x19cm), ainda em estado seco, figura 47, apresenta temperatura superficial semelhante – aproximadamente 23°C – entre si. O que indica que não há presença de água nem qualquer tipo de infiltração nesta fase da medição.

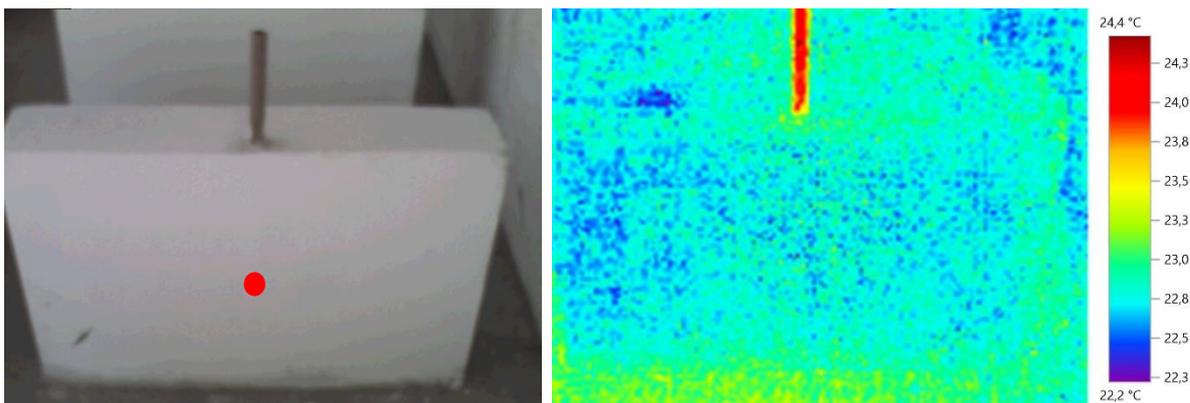


Figura 47 - Protótipo 3 seco.

Na figura 48, na primeira medição, fica bastante clara a ação da infiltração sobre o protótipo 3, na imagem termográfica. No caso desta conformação de parede, com tijolo furado, o resultado aparece imediatamente. Com apenas 10 minutos de infiltração o registro termográfico já aponta claramente o local onde o cano foi perfurado e o caminho da água espalhando-se pela alvenaria. A diferença de temperatura entre a superfície da alvenaria e o local onde a água está agindo é de aproximadamente 2°C.

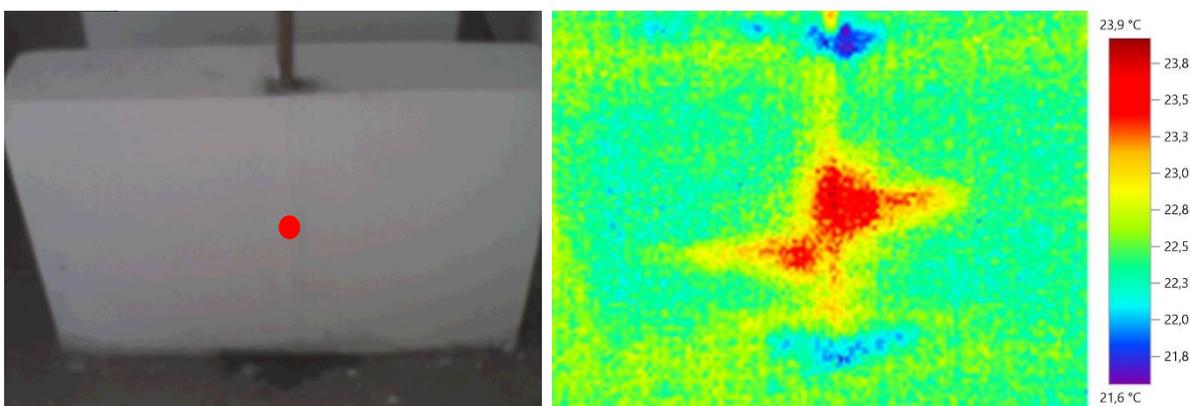
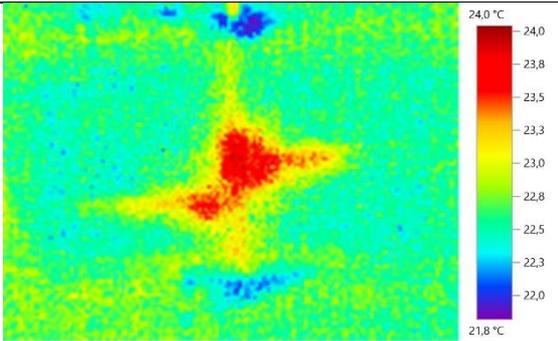
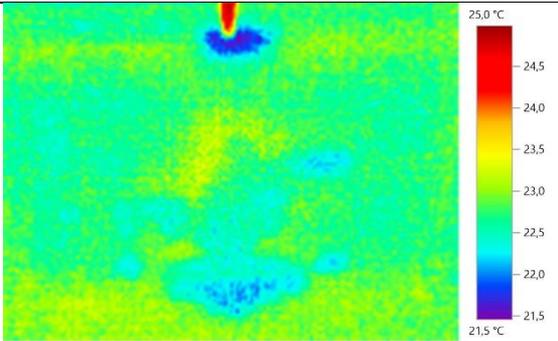
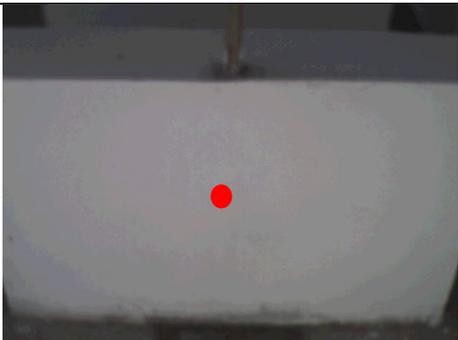
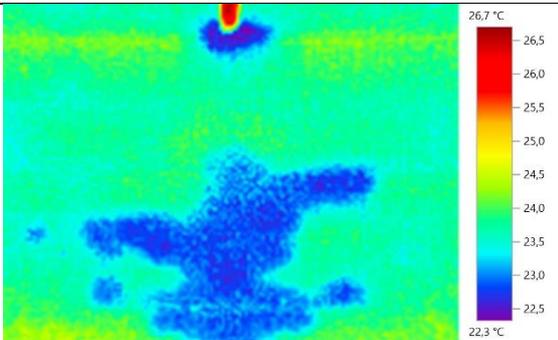
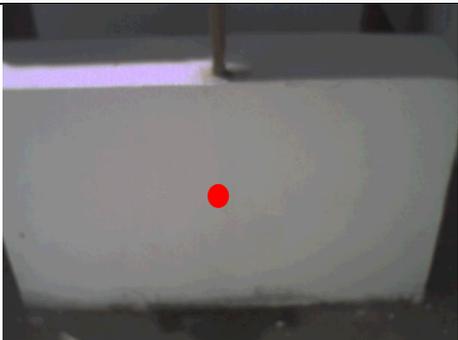
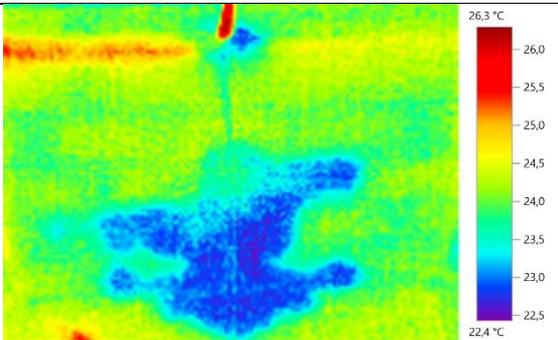


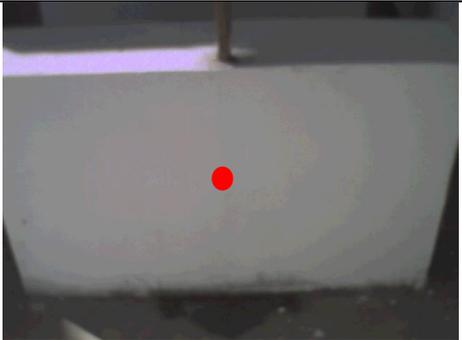
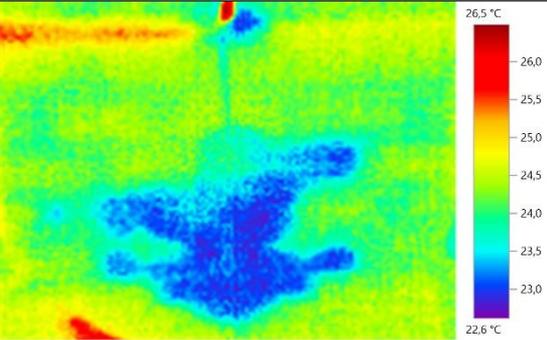
Figura 48 - Protótipo 3 com 10min de exposição à água.

A tabela 18 mostra as leituras de 20, 30, 40, 50 e 60 minutos. A leitura de 20 min manteve o comportamento da leitura de 10 min., porém aos 30 min há uma redução de temperatura, e aos 40 min uma uniformização desta redução e uma baixa ainda maior na região onde foi perfurado o cano. O padrão da leitura de 40 min manteve-se nas duas próximas leituras que ocorreram, mas chama-se atenção

que não houve a formação da figura tipo bulbo ao redor do furo do cano, provavelmente por tratar-se, agora, de uma parede de tijolos furados.

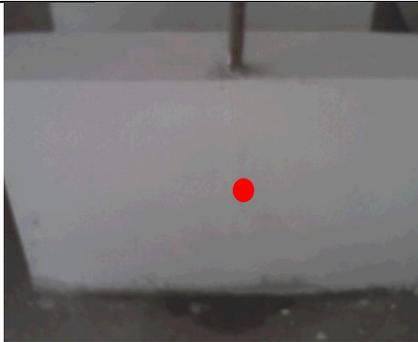
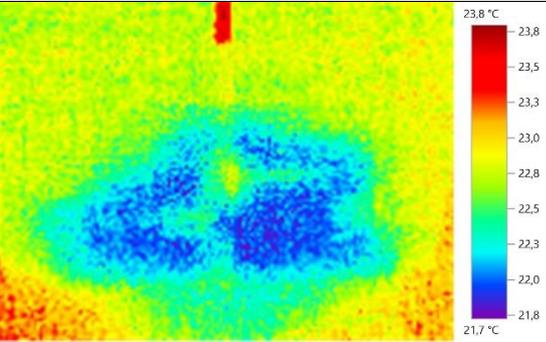
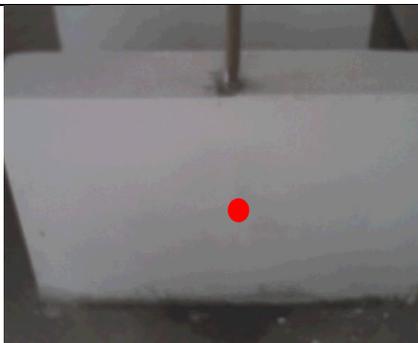
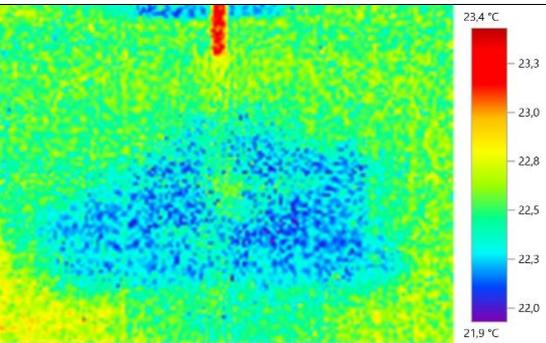
Tabela 18 - Leituras do protótipo 3 em 20, 30, 40, 50 e 60 minutos.

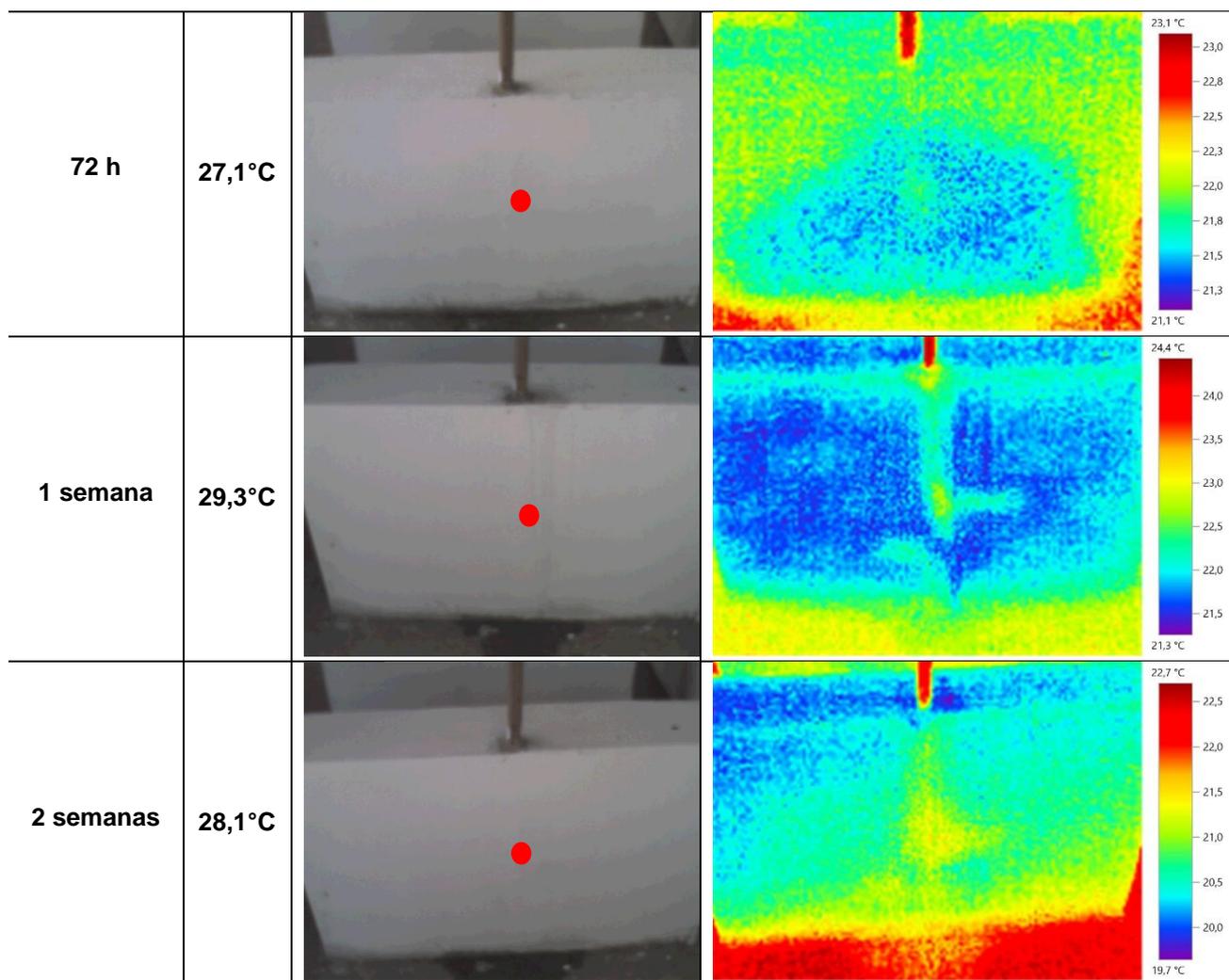
Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo 3	
		Luz visível	Termografia
20 min	28,4°C		
30 min	28,8°C		
40 min	28,9°C		
50 min	29,1°C		

60 min	29,1°C		
--------	--------	---	---

Passadas 24, 48 e 72 horas de exposição ao cano danificado, e com água, a mancha de umidade nas imagens termográficas seguiu apontando a presença de infiltração no mesmo local. Na tabela 19 pode-se visualizar estes registros e também notar um aumento na temperatura do protótipo. Novamente na leitura de uma semana houve um espalhamento da mancha com temperatura mais baixa e em duas semanas o início do aumento da temperatura.

Tabela 19 - Leituras do protótipo 3 em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas.

Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo 3	
		Luz visível	Termografia
24 h	28,1°C		
48 h	27,4°C		



Da mesma forma que ocorreu com os outros protótipos, o método da termografia apresentou-se eficaz na detecção das causas de umidade acidental nas edificações e conseqüentemente o surgimento de manifestações patológicas. Durante todo o intervalo de tempo dos ensaios em nenhum momento a estética do tronco de parede sofreu alteração, seja de tonalidade de sua cor original (branca), surgimento de bolor ou descolamento da pintura. Enquanto que as imagens termográficas apontaram significativa diferença de temperatura.

4.2.4. Protótipo 4

A figura 49 ilustra o protótipo 4 (14cm de espessura – tijolo 6 furos 9x14x19cm) antes da inserção de água. Pode-se observar que toda superfície do

protótipo apresenta temperatura semelhante, na faixa dos 23°C. Nesta análise preliminar do tronco de parede no seu estado original pode-se perceber que não há indícios da presença de umidade, uma vez que a superfície não apresenta variação de temperatura na imagem gerada pela câmera termográfica.

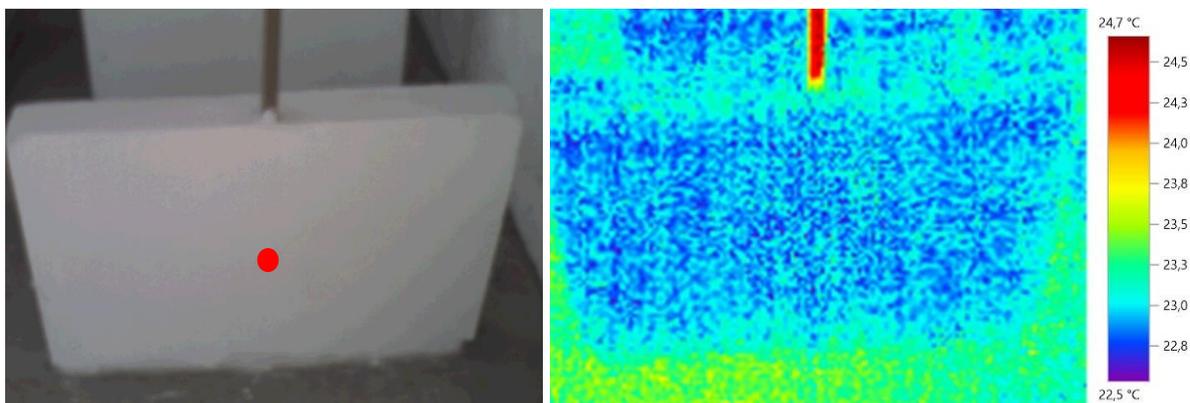
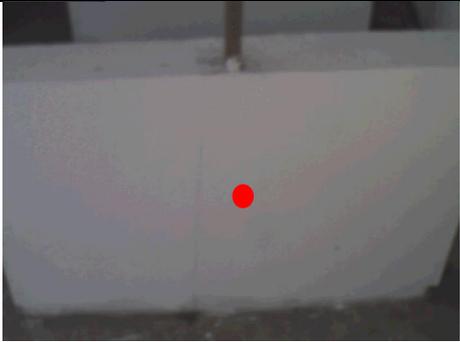
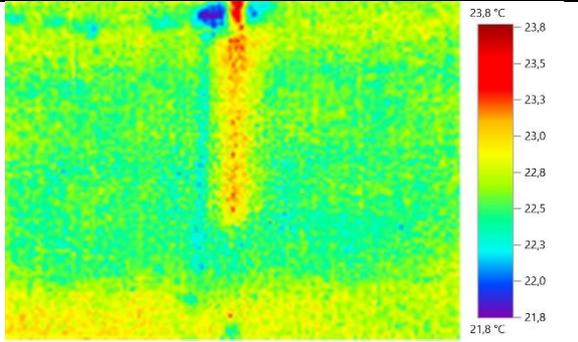
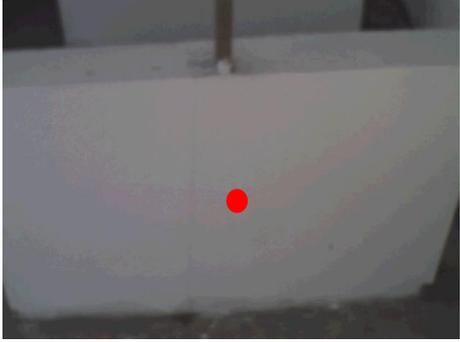
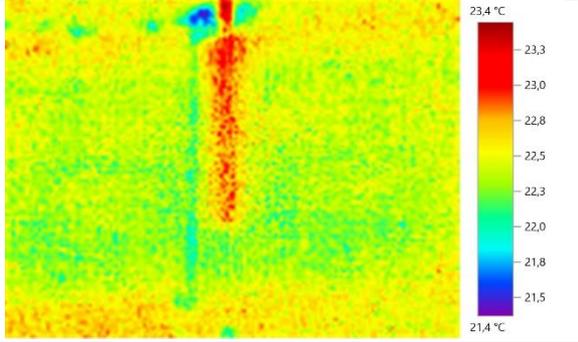
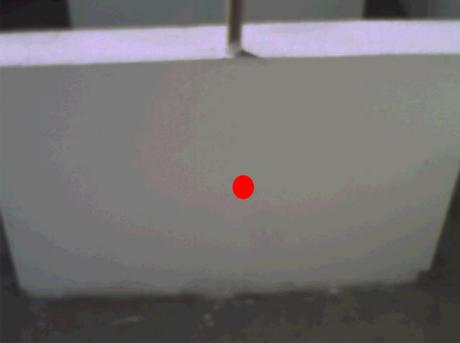
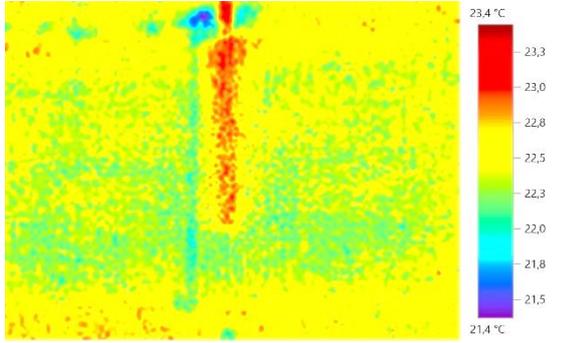
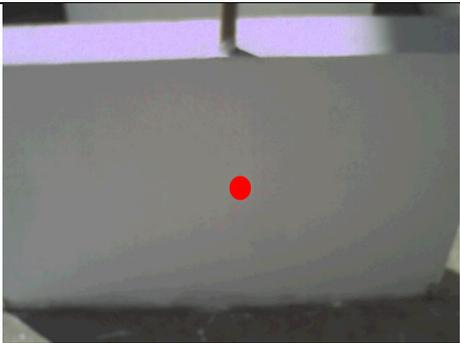
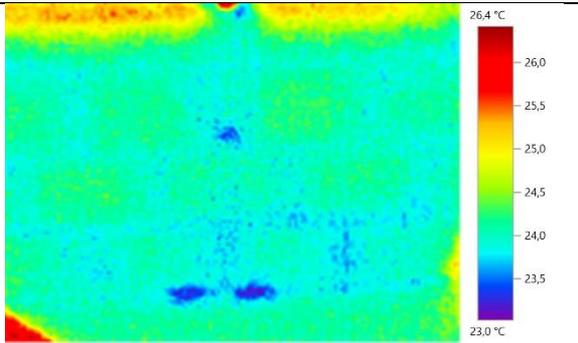


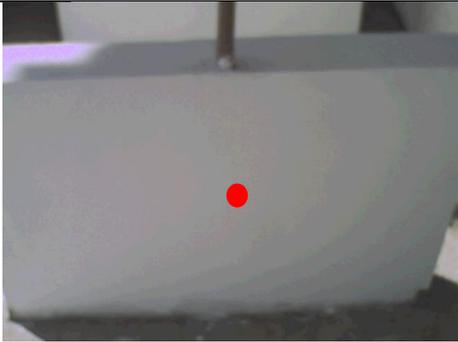
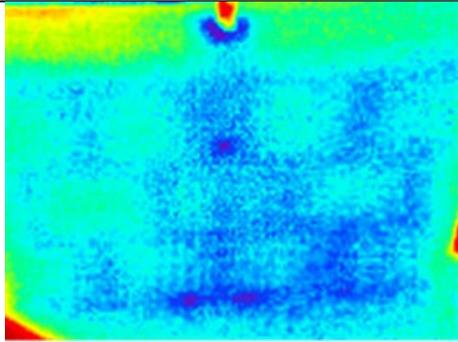
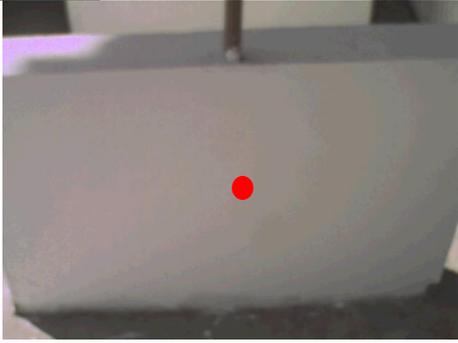
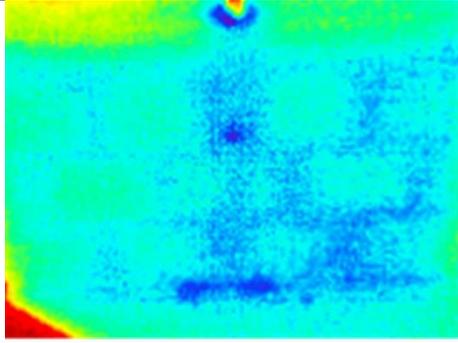
Figura 49 - Protótipo 4 seco.

A primeira medição com o cano cheio deu-se após 10 minutos da inserção de água e pode-se notar alterações na temperatura superficial do protótipo 4, conforme tabela 20. Nesta primeira leitura houve um leve aumento de temperatura (inferior ao que ocorreu no protótipo 2) porém marcou a região do cano. Nas leituras de 20 e 30 min iniciou-se um aumento da temperatura na localidade do cano. Na fotografia com a câmera tradicional não há indícios de manifestações patológicas, a parede permanece idêntica ao seu estado original. Porém, na imagem termográfica a presença de água no cano já pode ser identificada. Tal identificação dá-se pelo cano com água apresentar variação de temperatura significativa para a escala de cores do aparelho – aproximadamente 1°C.

Nos primeiros 30 minutos de medições, os termogramas apresentam variação de temperatura entre o cano de PVC e a alvenaria cerâmica após a inserção de água na canalização. Já nas leituras de 40, 50 e 60 min, o comportamento do protótipo 4 foi bastante semelhante aos anteriores, mostrando uma redução significativa da temperatura em praticamente todo o protótipo, mas sem a marcação do local do vazamento.

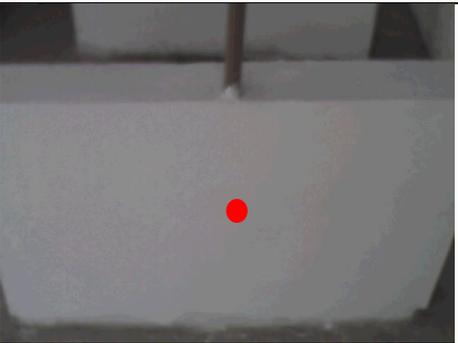
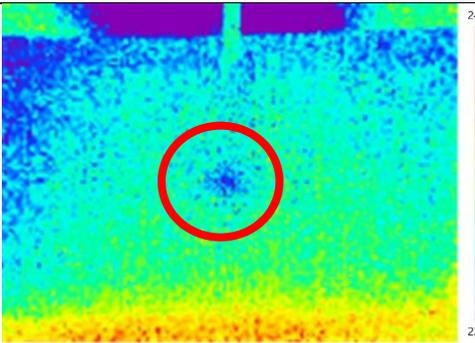
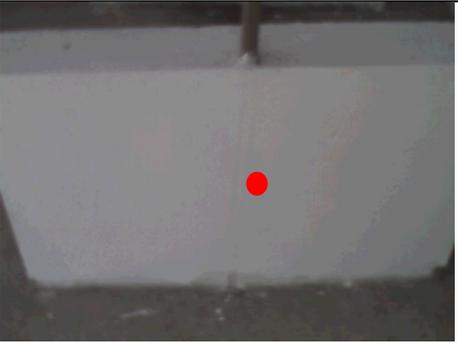
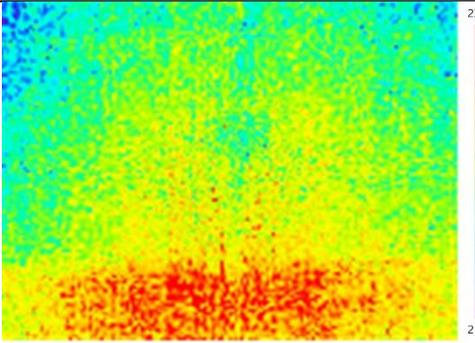
Tabela 20 - Leituras do protótipo 4 na primeira hora.

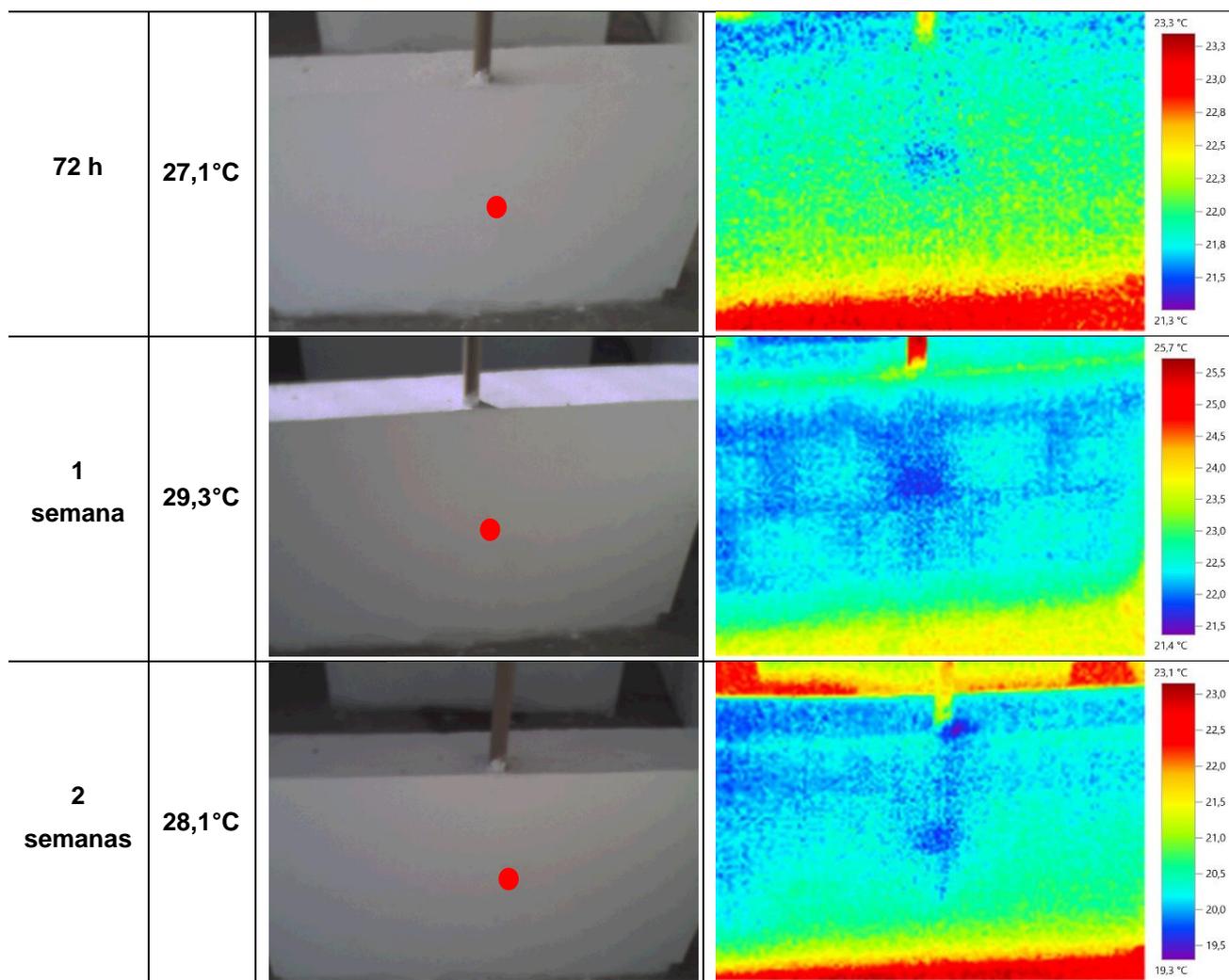
Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo 4	
		Luz visível	Termografia
10 min	28,4°C		
20 min	28,4°C		
30 min	28,8°C		
40 min	28,9°C		

50 min	29,1°C		
60 min	29,1°C		

A sétima medição do protótipo 4, 24 horas depois do início do processo de medição, começou a apresentar alterações de comportamento devido à infiltração. Pode-se observar na tabela 21 o local aproximado do vazamento de água através da imagem termográfica.

Tabela 21 - Leituras do protótipo 4 em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas.

Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo 4	
		Luz visível	Termografia
24 h	28,1°C		
48 h	27,4°C		



Com uma e duas semanas o protótipo 4 submetido à infiltração constante apresentou mais alterações. Decorridas duas semanas de infiltração, foi possível observar que a mancha do local onde o cano foi perfurado começa a espalhar-se pelo modelo, porém sempre ficando claramente marcado o local da mesma.

Desde o início da infiltração até o final do processo (2 semanas), nada alterou no comportamento da parede fotografada a luz visível, pois a pintura permaneceu intacta. Diferentemente do comportamento das imagens capturadas pela câmera termográfica, onde identificou-se primeiramente alteração de temperatura superficial com presença de água no encanamento e posteriormente o local onde a infiltração estava agindo juntamente da sua evolução constante.

4.2.5. Protótipo 5

No protótipo 5 (concreto com 10cm de espessura), o primeiro registro deu-se com o protótipo seco, sem água, conforme mostra a figura 50. Pode-se observar que a superfície do protótipo não apresenta diferenciação de temperatura relativa ao corpo do cano inserido no tronco da parede. As variações que acontecem são efeito da temperatura do piso do local onde o modelo foi instalado. Este registra temperatura de aproximadamente 20°C enquanto a parte superior do protótipo 5 reflete em torno de 16°C, fazendo com que a superfície analisada apresente o intervalo desta troca de temperatura representado na escala de cores do amarelo ao azul ciano, passando por tons de verde.

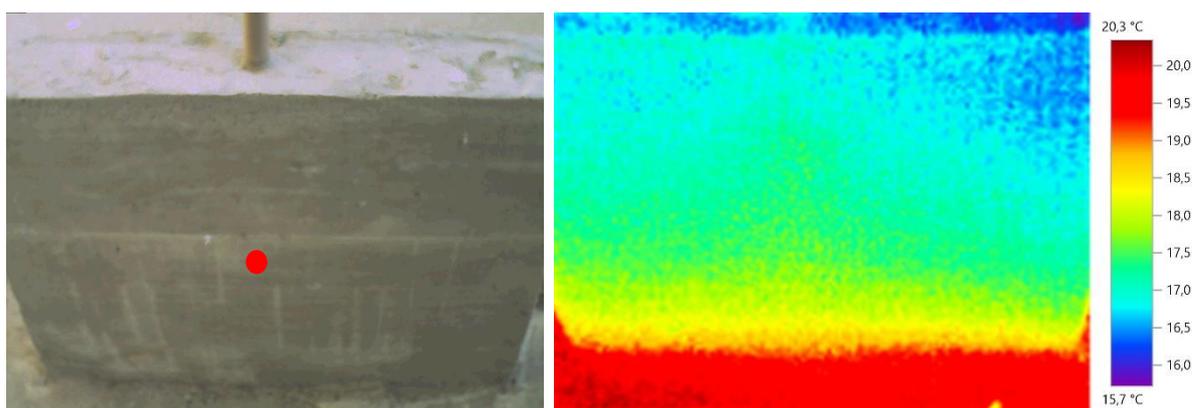


Figura 50 - Protótipo 5 seco.

Após executada a medição com o protótipo seco, foi inserida água no cano para que a 2ª medição pudesse ser feita conforme o processo de medição do trabalho. Na figura 51 é possível observar o resultado desta medição. Este foi o primeiro caso entre todos os protótipos em que a fotografia convencional sofreu alteração devido a inserção de água no modelo, enquanto que a imagem termográfica também acusou diferença de temperatura na região afetada.

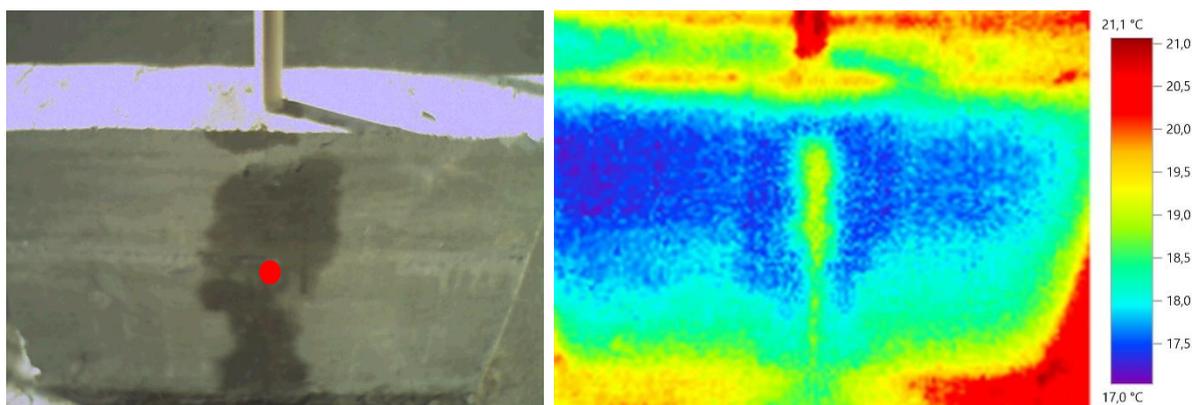
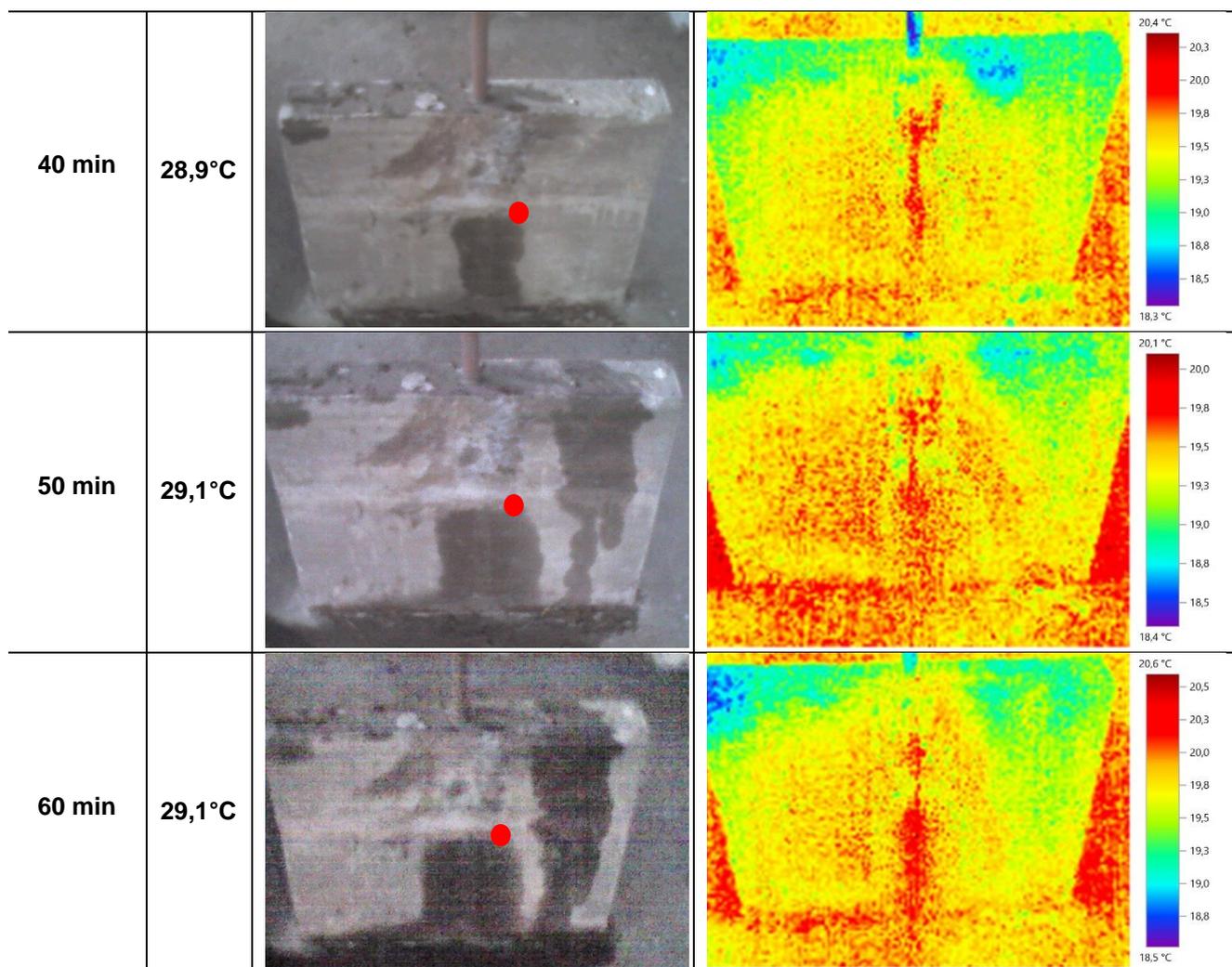


Figura 51 - Protótipo 5 com 10min de exposição à água.

Dando sequência aos ensaios e executando os registros em 20, 30, 40, 50 e 60 minutos após a inserção de água, pode-se observar que o comportamento foi evolutivo e gradativo, como ilustra a tabela 22. A partir da leitura de 40 min houve um aumento da temperatura do protótipo tornando-se de forma uniforme e similar nas posteriores medições. Tal fato ocorreu pelo fato de a parede estar em processo de aquecimento devido a incidência solar, fazendo com que a área úmida resulte em uma imagem quente porque a região com água se aquece mais rapidamente que a alvenaria seca.

Tabela 22 - Leituras do protótipo 5 em 20, 30, 40, 50 e 60 minutos.

Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo 5	
		Luz visível	Termografia
20 min	28,4°C		
30 min	28,8°C		



Levando-se em consideração que nenhum dos protótipos anteriores (alvenaria cerâmica rebocada) registraram comportamento semelhante ao da parede de concreto e também que os ensaios nos mesmos possibilitaram a conclusão de que a termografia tem potencial para identificação de elementos causadores de manifestações patológicas oriundas de umidade acidental, pode-se concluir que para estruturas de concreto sem revestimento o método da termografia não tem eficácia, quando pretende-se identificar manifestações patológicas ocultas, pois em todas as medições do processo a fotografia convencional aponta o local da infiltração com mais clareza e mesma rapidez que as imagens geradas pela termocâmara, excluindo assim a real necessidade do equipamento.

Com base nos resultados e informações acima, o processo de medição da parede de concreto não teve continuidade nos dias e semanas seguintes, pois como a mancha de umidade a luz visível manifestou-se desde a primeira medição, fez-se

desnecessária continuidade das fotografias termográficas pelo fato de o material captado no primeiro dia a luz visível já ser suficiente para tal conclusão.

4.2.6. Conclusões preliminares nos protótipos verticais

Conforme os dados obtidos e as análises realizadas, pode-se concluir, para os protótipos verticais (Tabela 23):

Tabela 23 - Resultados preliminares dos protótipos verticais.

Protótipo	Tamanho do tijolo	Tempo que termografia acusou infiltração	Tempo que fotografia acusou infiltração	Possível localizar danos pela termografia
1	Tijolo maciço 5x9x19cm	40 min	Não acusou	Sim
2	Tijolo maciço 5x9x19cm	40 min		Sim
3	Tijolo furado 6 furos 9x14x19cm	10 min		Sim
4	Tijolo furado 6 furos 9x14x19cm	10 min		Sim
5	Concreto com 10 cm espessura	10 min	10 min	Não

Apesar de apresentarem-se em todos os protótipos, o surgimento das manchas de umidade não possui a mesma forma, tamanho ou diferença de temperatura entre si, mesmo tendo sido utilizados o mesmo cano, mesmo diâmetro do furo e posição nos protótipos. Tal fator reforça as afirmações de Verçoza (1991) de que a umidade deve ser uma das principais preocupações do campo da Patologia das Construções exatamente por não apresentar regra de aparição e não ser só um elemento causador de uma manifestação patológica, mas também em virtude de agir como meio necessário para que grande parte dos problemas patológicos surjam.

4.2.7. Protótipo horizontal – laje

O processo de medição foi o mesmo dos protótipos de parede, portanto a primeira medição deu-se com a laje seca, como mostra a figura 52. Percebe-se ao

analisar a fotografia tradicional que não há indícios de infiltrações na estrutura, confirmando que o protótipo se encontra na forma ideal para a injeção de água para posteriores análises e comparações. Na imagem termográfica é possível observar que há diferença de temperatura superficial no elemento, porém, pela escala de cores da imagem é possível perceber que a diferença é inferior a 1°C.

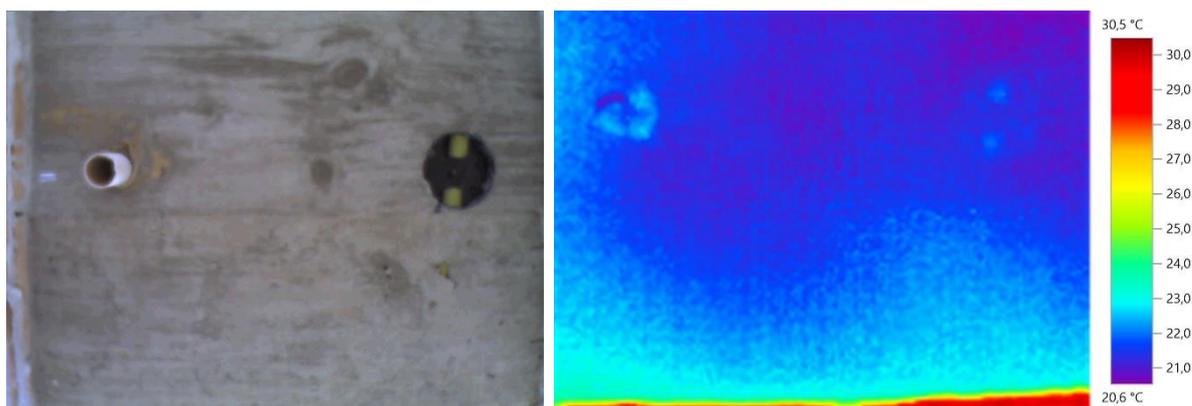
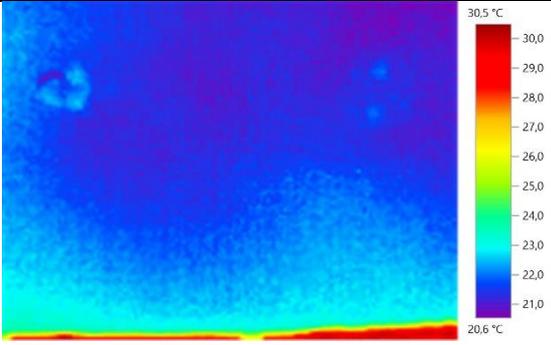
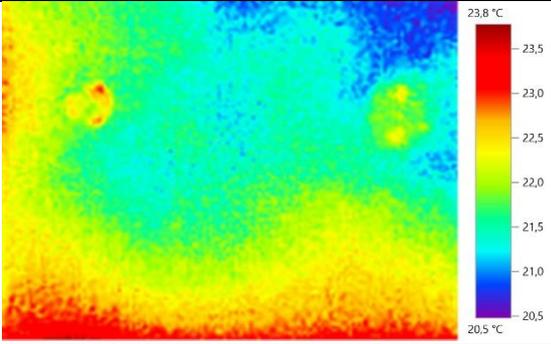
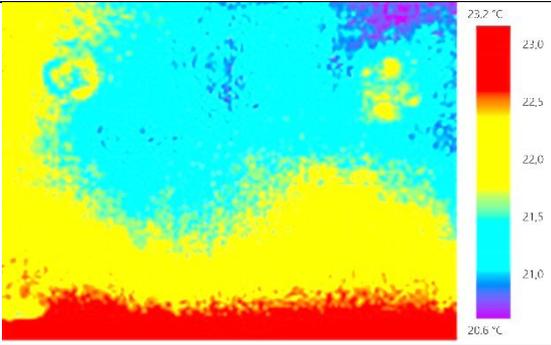
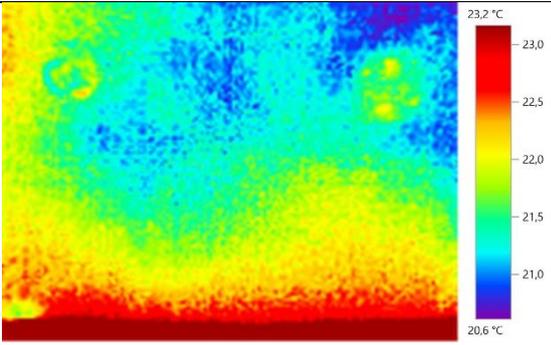
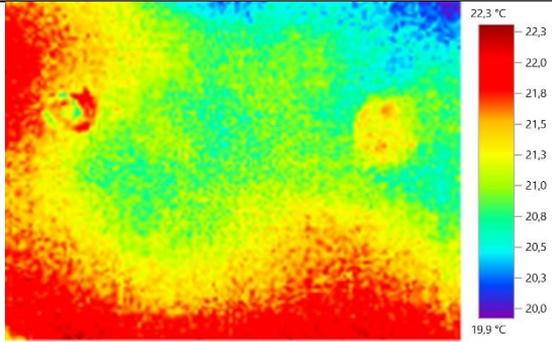
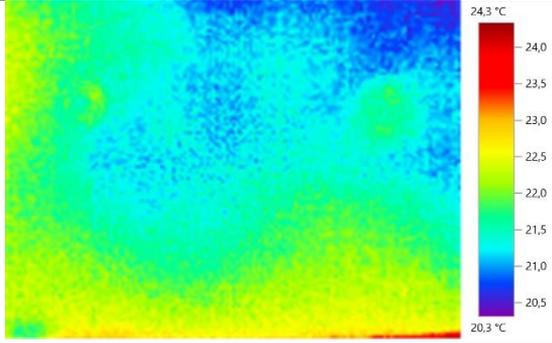


Figura 52 – Protótipo horizontal seco (vista inferior).

Dez minutos passados da colocação de água, foram captadas as fotografias da mesma forma que foram feitas quando a laje estava seca. A tabela 24 apresenta as leituras iniciais. As alterações nas imagens começaram a acontecer decorridos 20 minutos da lâmina d'água sobre a laje. Ao analisar-se a fotografia convencional percebe-se uma mancha suave de umidade. A imagem termográfica, apesar de apresentar diferença de temperatura decorridos os 20 minutos, não apresenta relação imediata com o que a fotografia convencional mostra sobre a infiltração.

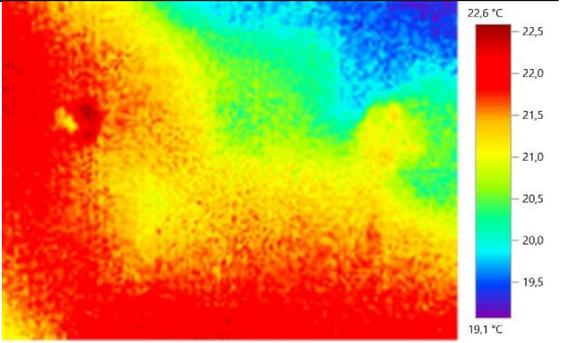
Tabela 24 - Leituras do protótipo de cobertura na primeira hora (vistas inferiores).

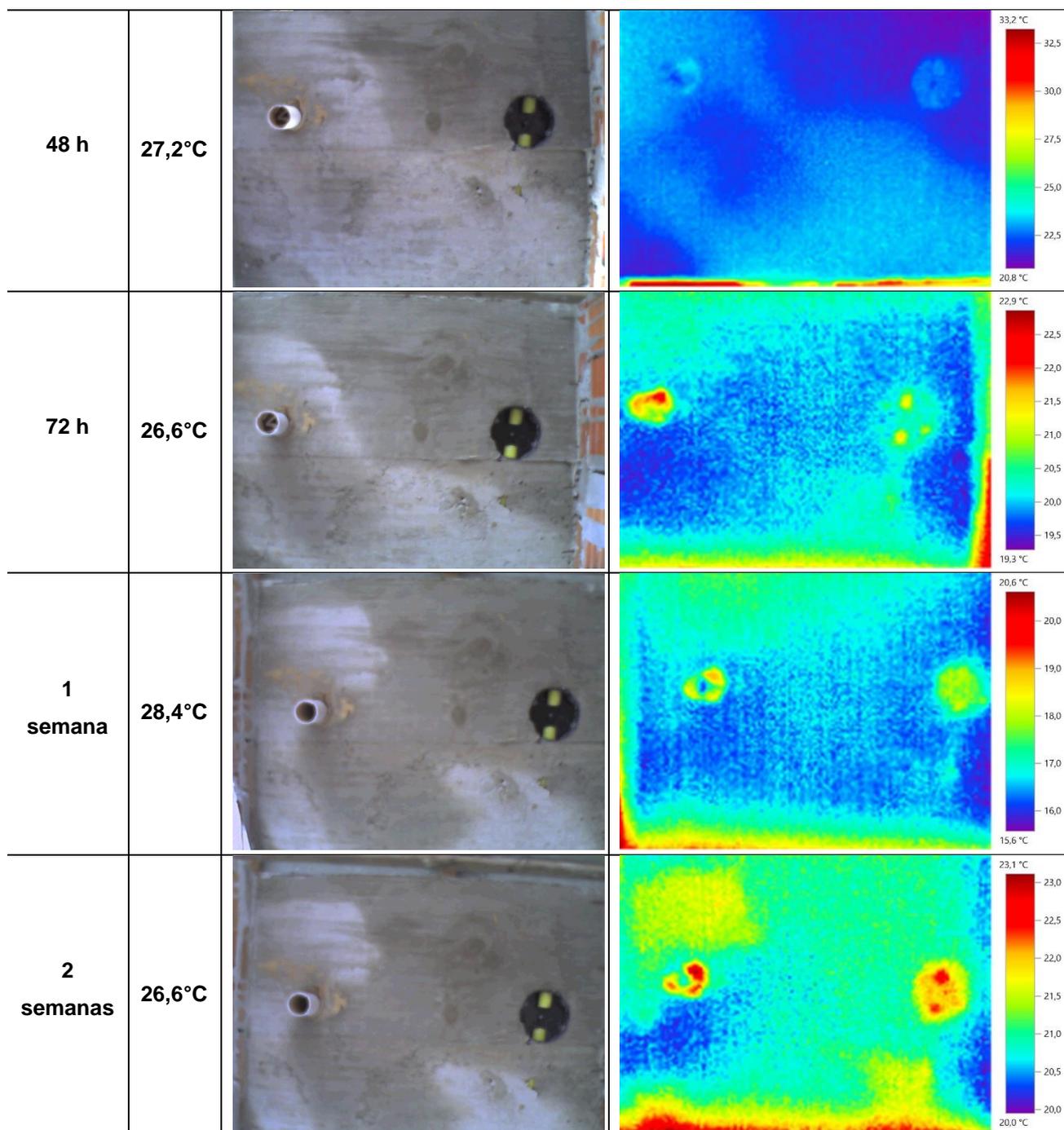
Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo de cobertura	
		Luz visível	Termografia
10 min	29,5°C		
20 min	29,5°C		
30 min	29,5°C		
40 min	29,7°C		

50 min	29,7°C		
60 min	29,9°C		

Os ensaios realizados com 24, 48 e 72 horas, bem como o ensaio de uma e duas semanas, apresentaram registros que não diferem significativamente entre si, porém apresentam evolução em relação aos ensaios da primeira hora. Para ilustrar a afirmação, apresenta-se na tabela 25 essas medições.

Tabela 25 – Leituras do protótipo de cobertura em 24, 48 e 72 horas e 1 e 2 semanas (vistas inferiores).

Tempo de leitura	Temp. amb.	Protótipo de cobertura	
		Luz visível	Termografia
24 h	26,1°C		



Neste caso observa-se que existe uma mancha de umidade (cinza escuro) na fotografia tradicional na parte superior direita da foto. Na imagem termográfica, a escala de cores apresenta-se na mesma escala da fotografia, fato que difere das primeiras análises.

Finalizada a bateria de análises do protótipo da cobertura, percebe-se que não há uma uniformidade de comportamento, pois os primeiros resultados não apontam uma relação direta entre as manchas que surgiram visivelmente na laje com as fotografias capturadas pelo termovisor. Todavia, nas medições diárias e

posteriormente semanais, os resultados apresentaram-se de forma semelhante e correlacionadas quando comparadas as manchas de umidade com as imagens termográficas.

Considerando-se as instalações elétricas e hidráulicas pode-se afirmar que nenhum destes dois pontos apresenta relação direta com a infiltração através do método da termografia.

Diferentemente dos ensaios realizados com o cano de água nos protótipos em alvenaria, onde a água inserida foi claramente identificada pela termografia ao decorrer do processo de medição, no caso do protótipo de cobertura as instalações complementares (elétrica e hidráulica) não representaram nenhuma alteração nas imagens termográficas.

4.2.8. Índices de manchas nas paredes (m^2/m^2)

Posterior a análise individual das imagens termográficas dos protótipos em cada uma das medições indicadas, fez-se necessário o levantamento das áreas afetadas pelas manchas de umidade com o intuito de se verificar relação entre a dimensão das mesmas em relação ao tempo decorrido de infiltração. Os resultados apresentados abaixo tornam-se bastante conclusivos acerca da evolução da umidade acidental na experiência proposta, como mostrado na figura 53.

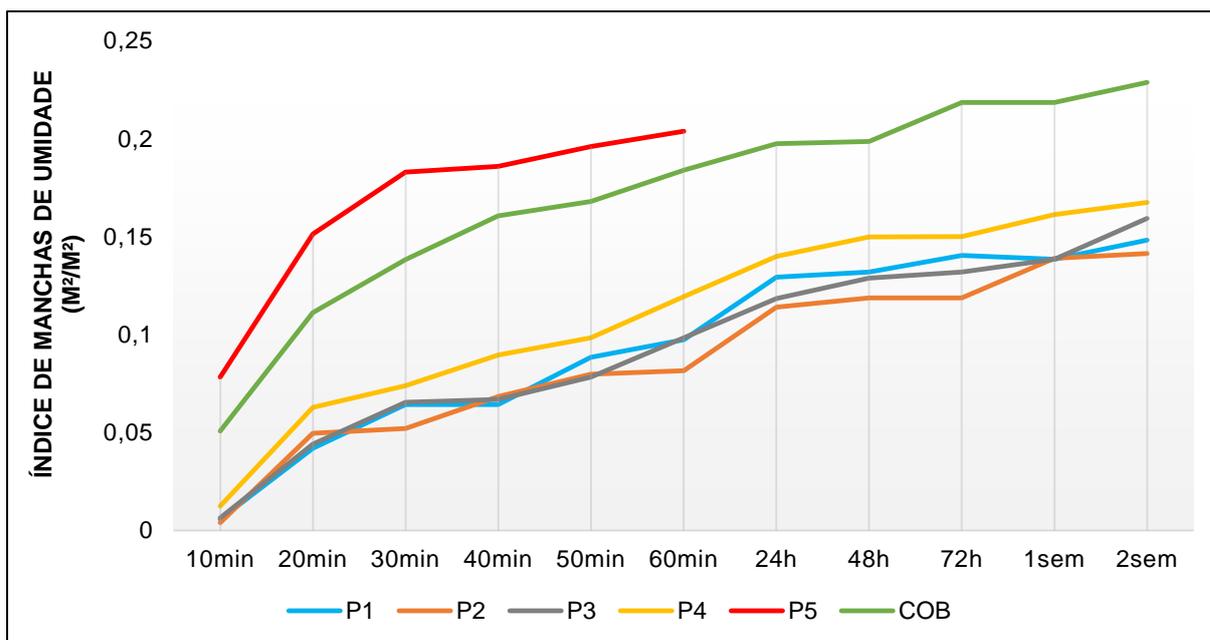


Figura 53 - Índice de manchas de umidade.

Além de já ter-se registrado que a termografia é capaz de identificar manifestações patológicas ocultas oriundas de umidade acidental, com o auxílio da figura 59 pode-se concluir que as manchas tendem a aumentar ao passar do tempo, comportamento, este, facilmente compreensível e esperado devido à natureza porosa dos materiais utilizados nos protótipos.

Primeiramente, percebe-se que existem duas linhas com índices de manchas de umidade mais elevados em relação às demais. Estas representam os valores dos protótipos de concreto: P5 (protótipo 5) e COB (cobertura). As curvas dos protótipos de 1 a 4 comportam-se de maneira aproximada, por se tratar de uma composição semelhante de materiais.

Pode-se observar também que o protótipo de maior índice é o P4 – dentre os protótipos com material cerâmico -, construído de tijolos furados e assentados a cutelo. O valor deste índice justifica-se pelo fato deste tipo de tijolo apresentar maior índice de absorção em relação ao tijolo maciço. O fato de, por estarem assentados a cutelo apresentarem maior área de cerâmica em relação ao P3 – constituído também de tijolo furado – reforça e justifica os resultados obtidos.

Considerando o traçado das retas e suas variações, o gráfico mostra que as manchas tendem a aumentar com maior significância nos primeiros dez minutos de infiltração, passando de valores próximos a zero e 0,06 para os protótipos de

alvenaria e concreto, respectivamente, para índices de aproximadamente 0,05 nos protótipos de alvenaria e 0,13 para os feitos em concreto.

Ao longo do processo de medição, a evolução foi contínua para todos os casos, ocorrendo algumas pequenas variações. Porém, considerando a curva final, observa-se que as manchas de umidade resultantes da infiltração simulada tendem a crescer com o passar do tempo.

4.2.9. Relação da temperatura ambiente com a variação de temperatura superficial dos protótipos

Durante todo o processo de medição, além das fotografias convencionais e imagens termográficas, foram registradas as temperaturas diárias do local afim de verificar a existência de relação entre tais dados.

Antes da verificação, foi feito um estudo da temperatura média das superfícies secas e úmidas de todos os protótipos desenvolvidos, com o intuito de verificar relação entre tais valores, se eles se manteriam constantes ou haveria variação com ou sem uniformidade. A média foi realizada levando-se em consideração os termogramas das medições durante as duas semanas e as temperaturas locais no momento de cada captura de imagem. O resultado destas médias segue abaixo, na figura 54.

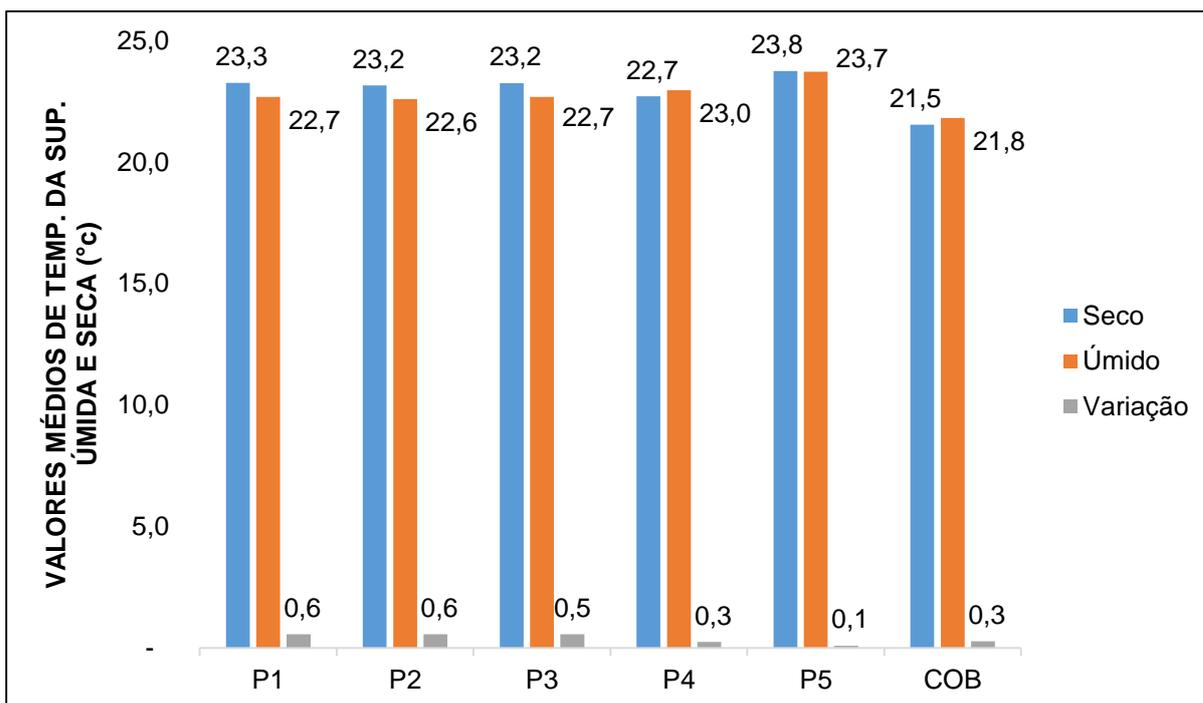


Figura 54 - Média de temperatura superficial úmida e seca dos protótipos.

Ao analisar-se o gráfico acima, percebe-se que a variação de temperatura entre as superfícies obedece um padrão. Os protótipos numerados de 1 a 4 – construídos com alvenaria de blocos cerâmicos e rebocados – apresentam valores de 0,3 a 0,6°C de variação, enquanto que o protótipo 5 e o protótipo de cobertura registram 0,1 e 0,3°C de diferença entre as superfícies secas e atingidas pela infiltração.

Com base nas informações da figura 54, é possível observar que há uniformidade na variação de temperatura de superfícies e que é de alta precisão o aparelho utilizado para o desenvolvimento deste trabalho, pois é capaz de registrar variações de temperatura superficiais de cerca de 0,1°C.

Confirmada que a variação entre as superfícies analisadas existe e obedece um padrão, foi a vez de se processar a variação de temperatura de cada uma das medições em cada um dos protótipos e se verificar sua relação com a temperatura ambiente.

Para que a análise fosse facilitada, catalogaram-se todos os dados em diversas tabelas afim de que estas mesmas gerassem um gráfico ilustrativo de seus dados. O resultado do processamento dos mesmos segue abaixo (Figura 55).

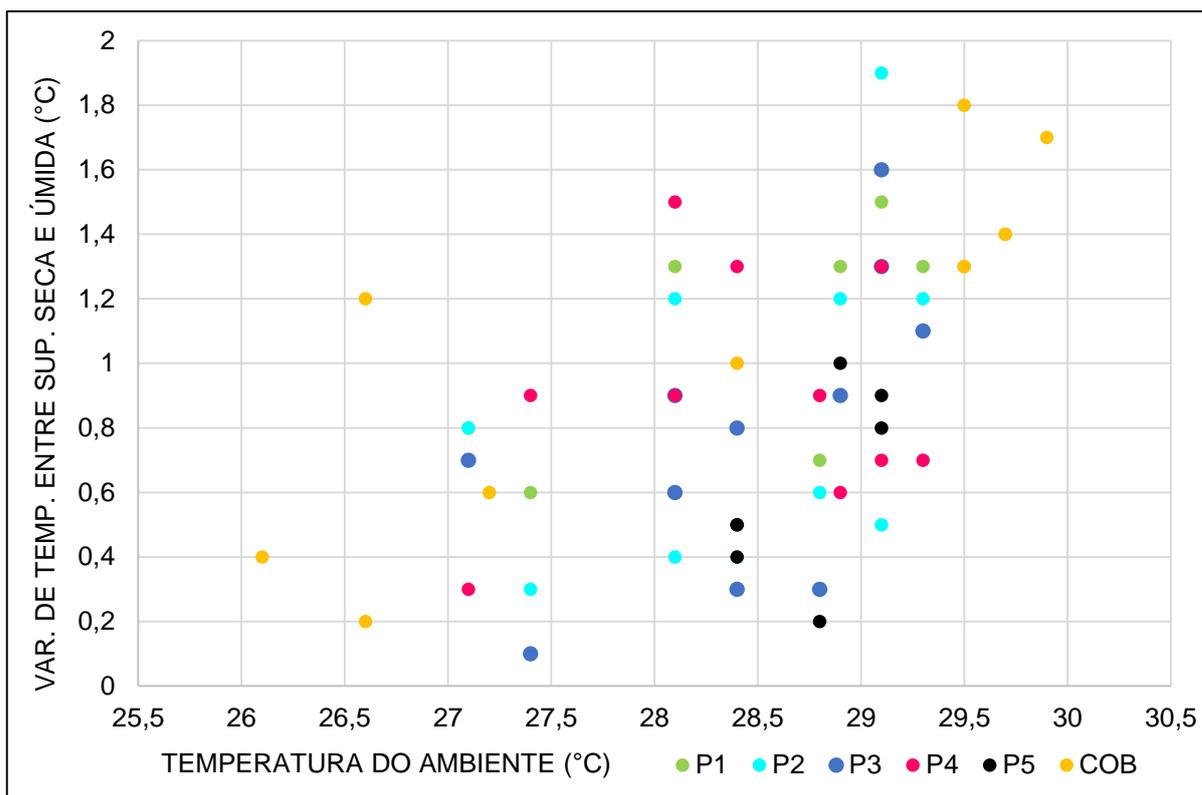


Figura 55 - Relação da temperatura ambiente com a variação de temperatura superficial dos protótipos.

Percebe-se no gráfico que não há uma regra específica relacionada às duas variáveis em cada protótipo, estes representados por suas iniciais e numeração (protótipo 1 = P1 e assim sucessivamente). Porém o sentido de crescimento dos pontos – de uma forma geral – apresenta uma tendência ascendente nos dois eixos do gráfico.

No próximo capítulo estão apresentadas as conclusões deste estudo e sugestões de trabalhos futuros.

5. Conclusões

A análise do estudo piloto mostrou que, com a tecnologia que se tem hoje para aplicação do método da termografia e utilizando-se o equipamento descrito nesta dissertação, é possível aplicá-lo de variadas distâncias, sendo confirmado que não há distorção nos resultados relacionados a esta variável até a distância de dez metros entre equipamento e superfície. O que acontece é simplesmente uma variação da qualidade dos detalhes do termograma: quanto mais perto a câmera estiver do objeto analisado, maior a riqueza de detalhes da imagem termográfica.

Sendo assim, é possível concluir que se excluem as preocupações de distanciamento entre equipamento e objeto para análise de elementos ocultos causadores de manifestações patológicas relacionadas à umidade acidental, concordando com os estudos em desenvolvimento no Brasil por Moresco et al. (2015) e Freitas et al. (2014).

Em relação a configuração de emissividade do material no aparelho, tratando-se de análises qualitativas, este é um parâmetro que pode ser fixado sem que sejam prejudicados os resultados obtidos. Isto porque o interesse em tais resultados baseia-se na diferença de temperatura entre as superfícies analisadas e não na sua temperatura refletida. Então, pode-se concluir, através do estudo piloto em corpos de prova cerâmicos e de concreto, que a variação se comporta de forma semelhante, sem significativas mudanças de temperatura superficial advindas da regulagem do parâmetro de emissividade da termocâmera, concordando com os estudos de Barreira et al. (2012), onde análises semelhantes foram feitas, com resultados e conclusões semelhantes.

Considerando os resultados dos cinco protótipos desenvolvidos (quatro de alvenaria rebocada e dois de concreto), foi possível afirmar que o método da termografia apresenta grande potencial para a análise de elementos ocultos e causadores de manifestações patológicas, confirmando a hipótese deste trabalho.

Analisando-se os protótipos de alvenaria de tijolos cerâmicos rebocados – sejam os maciços ou furados - foi possível concluir que a termografia é um método capaz e eficaz na detecção de infiltrações nas edificações ainda no seu estado oculto, ou seja, sem alteração nas superfícies rebocadas e pintadas.

Durante as duas semanas do processo de medição em que os protótipos foram submetidos à ação de umidade acidental através da infiltração projetada pelo furo na canalização inserida, não foi registrada nenhuma alteração visível nas fotografias convencionais. Não houve mancha de umidade, criação de bolor, descolamento da tinta ou do reboco e nenhum sinal sequer de início de manifestação patológica oriunda da infiltração nos protótipos.

No entanto, os resultados registrados pela termocâmara mostraram com clareza a ação da água nos protótipos desde as primeiras medições até o final do processo. Como pôde-se observar no gráfico dos índices de manchas de umidade, estas – de forma geral – aumentam com o passar do tempo, fazendo com que seja possível concluir que ao aplicar o método em situações reais, o tamanho da mancha de umidade captada pode ser relacionado com o tempo em que a mesma está agindo no elemento.

Com base nos resultados registrados e suas análises, faz-se possível a conclusão de que o método da termografia apresenta potencial para a área de manifestações patológicas nas edificações, concordando com estudos semelhantes realizados por outros pesquisadores, como Silva (2012) e Cortizo (2007).

Na análise dos protótipos de concreto armado (protótipo 5 e cobertura) os resultados divergiram dos registrados em alvenaria cerâmica rebocada e pintada, pois já na primeira medição foi possível observar na fotografia de luz visível a infiltração de água. As fotografias do termovisor também registraram diferença de temperatura superficial nos objetos em análise, porém, em alguns casos sem relação direta.

Levando-se em consideração que a fotografia de luz visível apontou as áreas úmidas juntamente com as imagens termográficas, conclui-se que o método não possui o mesmo potencial para estruturas de concreto armado sem revestimento argamassado e pintado. Uma vez a luz visível apontando os locais afetados pelos elementos causadores de manifestações patológicas oriundas de umidade acidental, exclui-se a necessidade de um segundo método para a análise, como consta na metodologia proposta por Lichtenstein (1986).

5.1. Sugestão de trabalhos futuros

E, por fim, no que se refere a futuros trabalhos, pode-se sugerir:

- Aplicação do método no monitoramento de situações reais de vazamentos e infiltrações para verificação da sua eficácia, eficiência e aplicabilidade;
- Desenvolvimento da metodologia em diversos outros revestimentos como alvenarias azulejadas, *steel frame*, *wood frame*, blocos estruturais cerâmicos e de concreto, dentre outros, uma vez que o presente trabalho testou apenas alvenarias de tijolos maciços e furados rebocados e pintados;
- Realização de testes da metodologia com um processo de medição mais longo com o intuito de verificar o momento aproximado do surgimento das manifestações patológicas, já que o presente estudo não apresentou indícios de dano aos elementos a luz visível;
- Realização de ensaios propostos em um ambiente de temperatura, incidência de ventos e umidade relativa do ar controlados para que seja possível analisar qualitativamente os dados obtidos com o objetivo de enriquecer os estudos acerca do método da termografia.

Referências bibliográficas

ABNT, NBR NM 30. Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. NBR NM 53. Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 9775. Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 7584. Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 8802. Concreto Endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15572. Ensaio não destrutivo – Termografia – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. Rio de Janeiro, 2013.

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

_____. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ALTOÉ, L., OLIVEIRA FILHO, D. Termografia Infravermelha aplicada à inspeção de edifícios. **Revista Acta Tecnológica**. v. 7, n. 1, p. 55-59, São Luiz, 2012.

ANDOLFATO, R. P. **Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4)**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2002.

ANDRADE, J.; DAL MOLIN, D. Influência da Agressividade Ambiental nas Patologias em Estruturas de Concreto armado nas Cidades de Porto Alegre (RS) e Recife (PE) São Leopoldo, 1997, **Anais...** São Leopoldo, UNISINOS/ANTAC, 1997. P. 127-133.

ARGILÉS, J. M. J.; GARCIA, A. A. G. **Patología y técnicas de intervención: fachadas y cobiertas**. Madrid: Munilla- Lérvia, 1999.

AVDELIDIS, N. P.; MOROPOULOU, A. Emissivity considerations in building thermography. **Energy and Buildings**, 35, 663–667. Elsevier, 2003.

AZEVEDO, S. L.; GUERRA, F. L. Considerações sobre patologias e restauração de edifícios. **Techne: Revista de Tecnologia da Construção**, São Paulo, v. 144, p. 42 - 45, 2009.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. Dissertação de mestrado em Engenharia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, 2004.

BARREIRA, E., FREITAS, V. Evaluation of Building materials using Infrared Thermography. **Construction and Building Materials**, 21, 218-224. Elsevier, 2007.

BARREIRA, E. FREITAS, V. P., DELGADO, J. M. P. Q., RAMOS, N. M. M. **Thermography Applications in the Study of Buildings Hygrothermal Behaviour**. LFC – Building Physics Laboratory, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Porto, 8. 171-182. Portugal, 2012.

BARROS, M. M. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos cerâmicos verticais**. Notas de aula. São Paulo: USP, 1997. Disponível em: <<http://pcc2436.pcc.usp.br/Textostecnicos/patologia/ApostilaPatologiaPCC436ano2000.pdf>> Acesso em: 28 nov. 2014.

BAUER, R. J. F. **Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica**. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, Bahia, 1997.

British Standard Institution, BS 1881: Part 201, 1986, “Guide to the use of nondestructive methods of test for hardened concrete”, London.

BUNGEY, J. H., MILLARD, S. G. GRANTHAM, M. G. **Testing of concrete in structures**. 4 ed. New York, USA: Champan e Hall, 2006. 310p.

CALDEIRA, M. M., PADARATZ, I. J. Potentialities of infrared thermography to assess damage in bonding between concrete and GFRP. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** v. 8, n. 3, p. 296-322, 2015.

CARNEIRO, F. L. **Análise dimensional e teoria da semelhança e dos modelos físicos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1996. 256p.

CHAROLA, A. E. Salts in the deterioration of porous materials: an overview. **Journal of the American Institute of Conservation** – JAIC, v. 39, n. 3, article 2, p. 327 – 343, 2000.

CHIES, J. A. **Ensaio não destrutivo em concreto: detecção de falhas no interior de estruturas de concreto com o uso de ultrassom**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. In: 1º Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. Florianópolis, 1988.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica da termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico**. Tese de Doutorado (Faculdade de Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

CORTIZO, E. C.; BARBOSA, M. P.; SOUZA, L. A. C. Estado da Arte da Termografia. **Revista Ambiente Construído**. v. 2, n. 2, p. 158-193, Belo Horizonte, 2008.

COSTA, P. L. d'A. **Patologias no processo executivo de revestimentos de fachada de edifícios**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

FOX, M.; COLEY, D.; GOODHEW, S.; WILDE, P. D. *Time Lapse thermography for building defect. Detection*. **Energy and Buildings**, 92, 95-106, Elsevier, 2015.

FREITAS, J. G., CARASEK, H., CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. **Revista Ambiente Construído**. v. 14, n. 1, p. 57-73, Porto Alegre, 2014.

GAUSSORGUES, G. La thermographie infrarouge – Principes, Technologies, Applications. 4^a Édition. Paris, Edition TEC & DOC, 1999.

GROSSO, M. **Análise termográfica de defeitos de corrosão em aços revestidos por materiais compósitos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

GUERRA, F. L. **Biodeterioração de conjuntos histórico do século XIX em Pelotas/RS: fungos filamentosos**. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

HART, J. M. A practical guide for infra-red termography for building surveys. Garston, Watford, BRE, 1991.

HATTGE, A. F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em bloco hatts de concreto.** Dissertação de mestrado profissionalizante em Engenharia Civil. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1988.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em paredes.** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995. 168 p.

HOLST, Gerald C. Common Sense approach to thermal imaging. Winter Park (FL): JCD Publishing, 2000. 377p.

IOSHIMOTO, E. Incidências de manifestações patológicas em edificações habitacionais. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. **Coletânea...** São Paulo: Pini/IPT, 1988, p.545-548.

JORDY, J. C.; MENDES, L. C.; ALVES, . Análise e Procedimentos Construtivos de Estruturas de Marquises com Propostas de Recuperação Estrutural. In: **XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural**, 2006, Campinas. Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, em CD - LIVRO DE RESUMOS. Niterói - RJ: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense - UFF, 2006. v. 1. p. 359-369.

KERSUL, G. M. **Uso da termografia para inspeções e manutenção predial – estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Faculdade de Tecnologia e Ciência Sociais Aplicadas – FATECS. Brasília, 2014.

LERSCH, I. M. **Contribuição para a identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

LICHTENSTEIN, N. B. Patologia das construções. **Boletim técnico n. 06.** São Paulo: USP, 1986.

LORENZI, A., CAETANO, L. F., DRUNN, M. T., FILHO, L. C. P. S. Utilização de ultra-som para o monitoramento de estruturas de concreto. In: **III PAN-AMERICAN CONFERENCE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING.** Rio de Janeiro, 2003.

LORENZI, A., REGINATO, L. A., LORENZI, L. S., PEDRON, F., FILHO, L. C. P. S. Utilização de termografia ultrassônica para avaliação de postes de concreto após sinistro. In: **XIII CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO.** Lisboa, 2015.

MALDAGUE, X. Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook. 3th ed. Columbus, 2001.

MALHOTRA, V. M., CARINO, N. J. **Nondestructive testing of concrete**. 2 ed. Florida – EUA: crcp, 2004. 310P.

MARIO, M. **Uso das termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas**. Trabalho de diplomação. Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

MEHTA, P. J., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3.ed. São Paulo, IBRACON, 2008. 674p.

MENEGHETTI L. C. **Avaliação de estruturas acabadas**. Conteúdo da disciplina optativa Patologia e recuperação de estruturas de concreto. Cascavel. PR: Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2009. 34p.

MORESCO, J., BORDIN, F., VERONEZ, M. R., KULAKOWSKI, M. P. Termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado. In: XI CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, 2015, São Leopoldo, **Anais...** São Leopoldo: ALCONPAT, 2015.

NAPPI, S. C. B. **Uma solução alternativa para prorrogação da vida útil dos rebocos com salinidade em edifícios históricos**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

OLARTE, C. W.; BOTERO, M. A.; CAÑON, A. B. Técnicas de Mantenimiento Predictivo utilizadas en la indústria. **Scientia et Technica**, v. XVI, n. 45, p. 223-226, Colombia, 2010.

OLARTE, C. W.; BOTERO, M. A.; ZABALETA, B. C. Aplicación de la Termografía en el Mantenimiento Predictivo. **Scientia et Technica**, v. XVI, n. 48, p. 253-256, Colombia, 2011.

OLIVEIRA, G. F. P. **Potencialidade das termografia para o diagnóstico de patologias associadas à humidade**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto, 2013.

PAZZINI, F. F., ZANCAN, E. C. **Vistoria de Estádio de Futebol: estudo de caso Estádio Engenheiro Mário Balsino, Criciúma – SC**. Artigo submetido ao curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Santa Catarina, Criciúma, 2012.

PEDRA, S. A. **Potencialidade da termografia infravermelha aplicada ao Design do conforto térmico de alvenaria estrutural**. Dissertação de mestrado em Design.

Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

PERES, R. M. **Levantamento e identificação de manifestações patológicas em prédio histórico – um estudo de caso.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

PERES, R. M. **Manifestações patológicas em edificações.** Pelotas: Editora da Universidade Federal de Pelotas, 2004. 87p.

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (1ª e 2ª parte). In: **Tecnologia de edificações**, 1988, São Paulo: Pini. p. 571-578.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RIBAS, R. B.; CASADEMUNT, A. P. **Reconocimiento, diagnosis e intervenció n em fachadas.** Catalunya: Itec, 2002.

RAO, D.S. Prakash. **Infrared thermography and its application in civil engineering.** The Indian Concrete Journal, 2008. Disponível em: <http://icjonline.com/views/POV_2008_05_41_D.S.%20Prakash%20Rao.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.

SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B. **Recomendações para produção de revestimento cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria.** São Paulo, Convênio EPUSP/CqDCC, 1990.

SAHUINCO, M. H. C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SCHWETZ, P. F. **Análise teórico-experimental de uma laje nervurada em modelo reduzido sujeita a um carregamento linear.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SEGAT, Gustavo Tramontina. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS).** 2005. 165f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SILVA, R. T. **Inserção dos programas de uso racional e conservação da água nas políticas regionais, urbanas e setoriais.** Apresentado no Encontro Técnico sobre Uso e Conservação dos Recursos Hídricos. MMA e MPO. Brasília, junho de 1996.

SILVA, A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados. Estudo de caso em edifícios em Florianópolis.** 2007. 189f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, D. D. S. **Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.

SILVA FILHO, L. C. P., LORENZI, A., CAMPAGNOLO, J. L., STRIEDER, A. J., QUININO, U. C. M., CAETANO, L. F. Estudos de caso sobre avaliação de estruturas de concreto através da utilização de ensaios não destrutivos. **Revista ALCONPAT.** v.1, n. 3, p. 196-208, Porto Alegre, 2011.

SOUZA, M. F. **Patologias Ocasionadas pela Umidade nas Edificações.** Dissertação de mestrado em Engenharia. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

STRAUBE, J. **Moisture, materials and buildings.** HPAC Engineering. April, 2002. p. 37 – 46. <Disponível em: www.hpac.com/microsites/egb/pdfs/straube_0402.pdf> Acesso em 18/09/2015.

TERRA, R. C. **Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de Pelotas.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação.** São Paulo, Ed. PINI, 1992.

THOMAZ, E.; CHIMELO, J. P. Cupins e argamassas. **Téchne** – Revista de Tecnologia da Construção, São Paulo, ano 2, n. 7, p. 5, nov/dez. 1993.

UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. In: **TECNOLOGIA em edificações.** São Paulo: IPT; Pini, 1988.

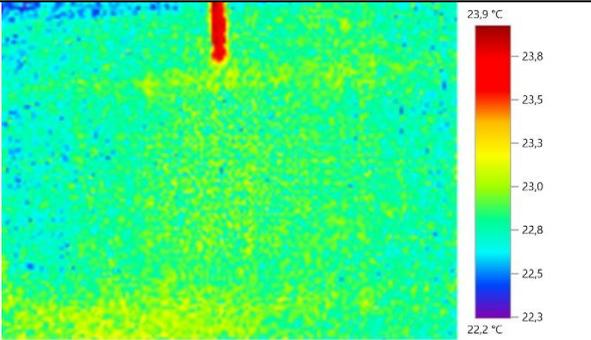
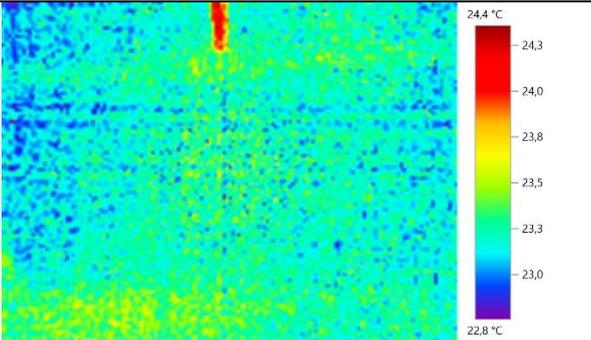
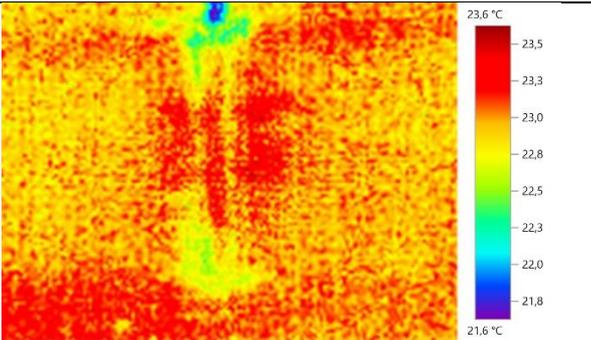
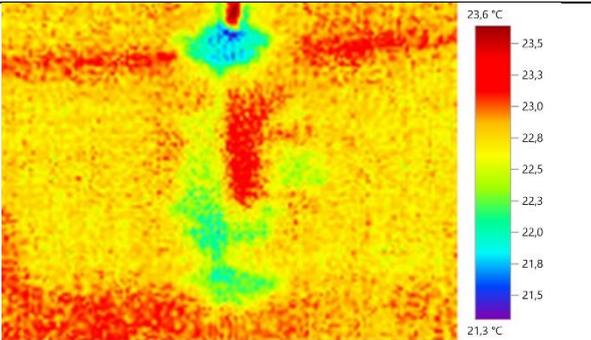
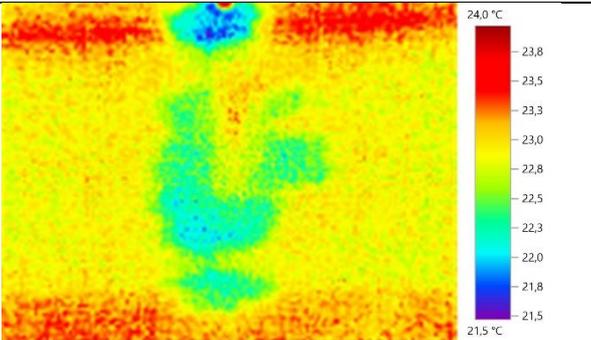
VEENENDAAL, D.; BLOCK, P. *Design process for prototype concrete shells using a hybrid cable-net and fabric formwork.* **Engineering Structures.** v. 75, p. 39-50, Elsevier: 2014.

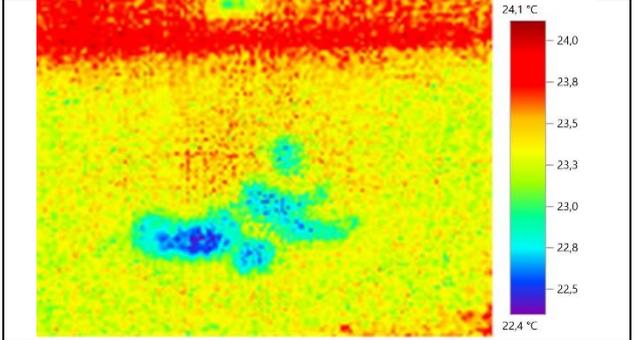
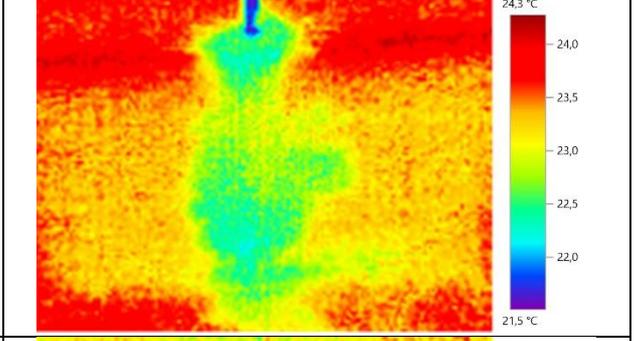
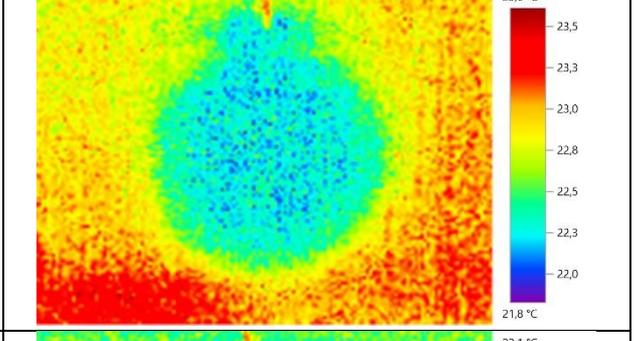
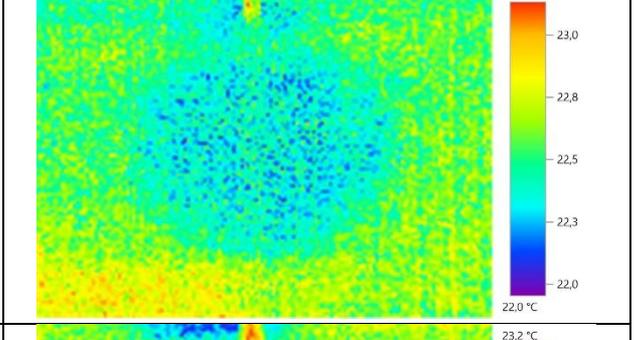
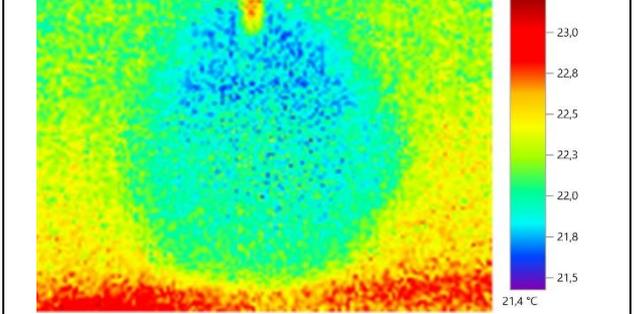
VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações.** Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.

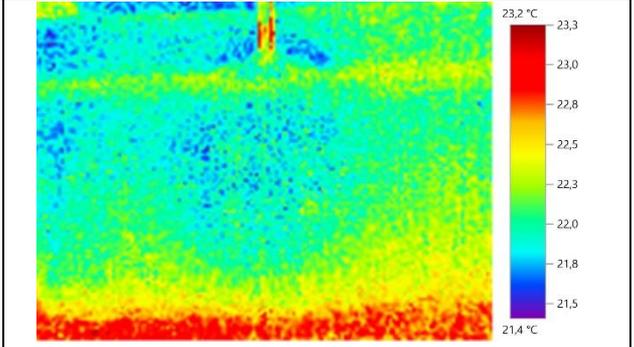
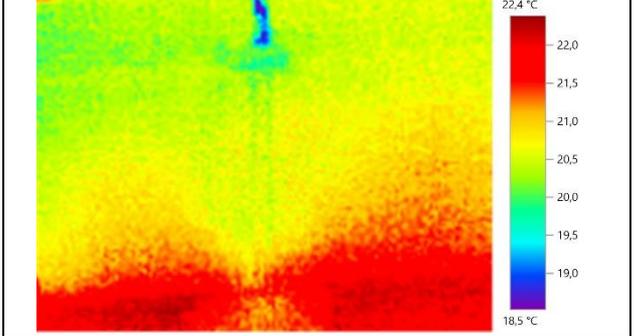
VIITANEN, H.; VINHA, J.; SALMINEN, K.; OJANEN, T.; PEUHKURI, R.; PAAJANEN, L.; LÄHDESMÄKI, K. Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures. **Journal of Building Physics,** v. 33, n. 3, 2010.

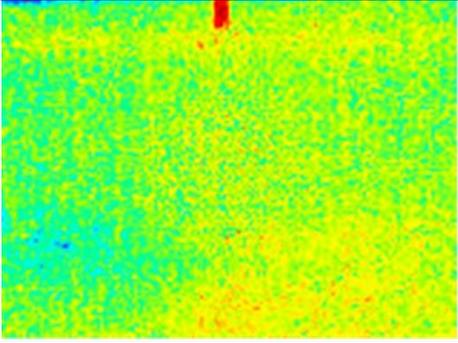
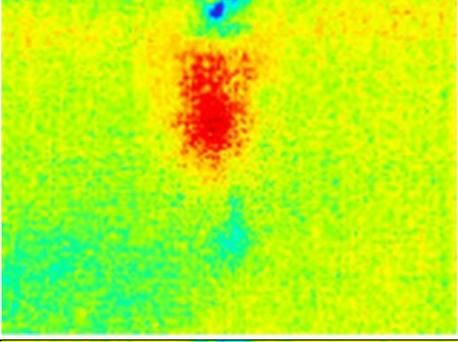
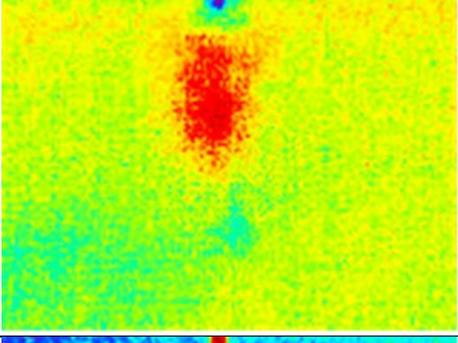
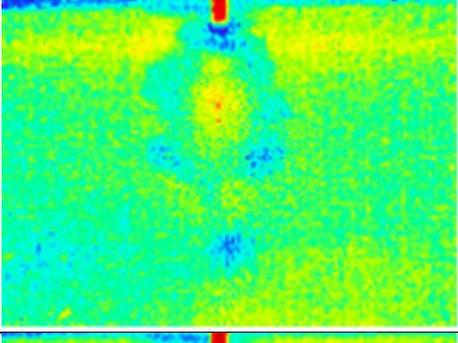
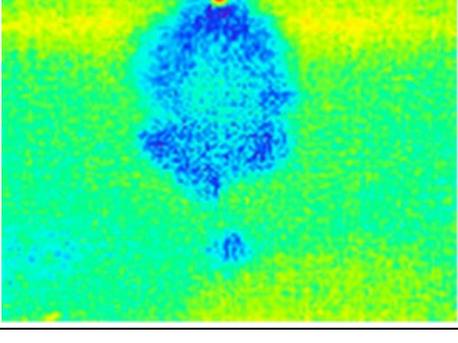
WILD, Walter. Application of infrared thermography in civil engineering. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng, v. 13, n. 4, p. 436-437, 2007. Disponível em: <http://www.kirj.ee/public/Engineering/2007/issue_4/eng-2007-4-15.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2016.

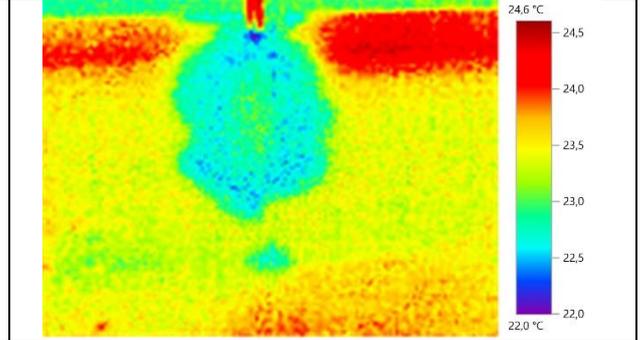
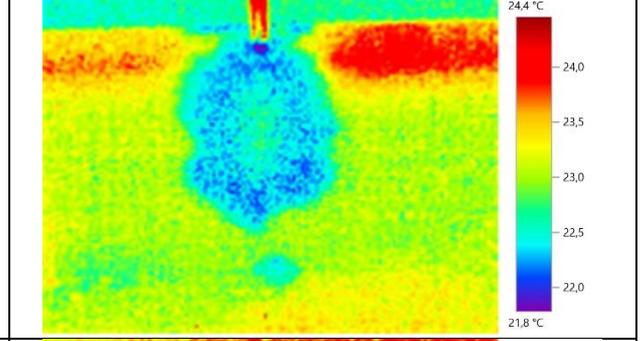
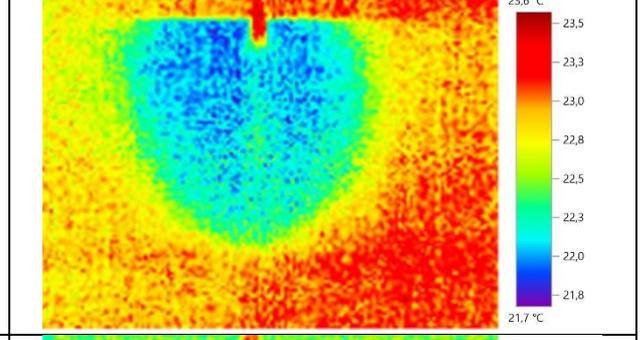
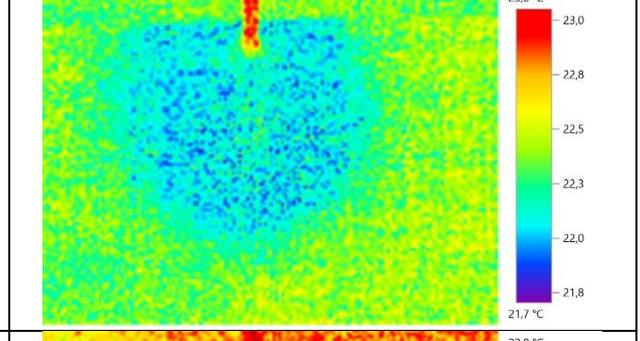
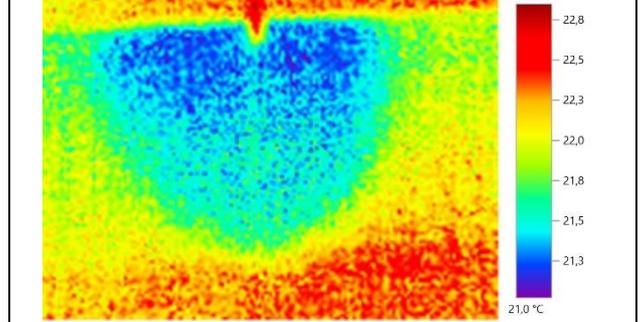
Apêndice A – Resultados da termografia

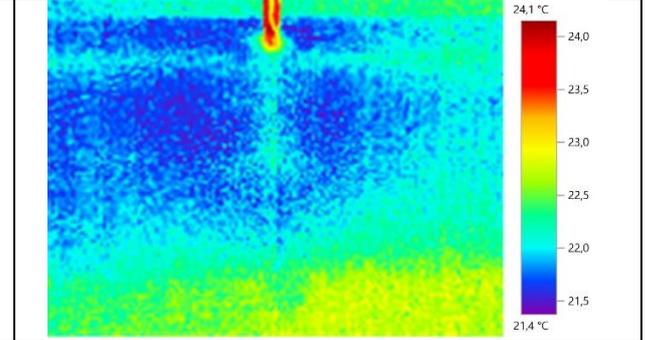
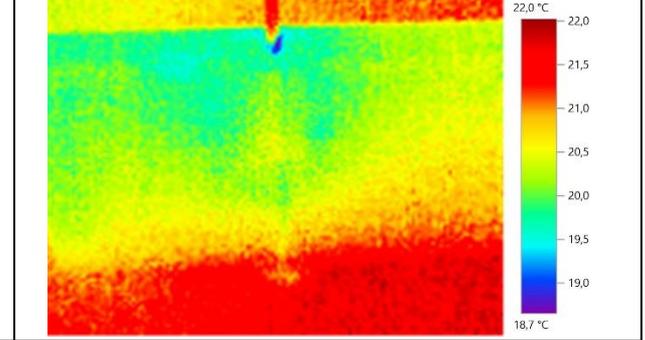
	Protótipo 1	
	Luz visível	Termografia
Seco		
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		

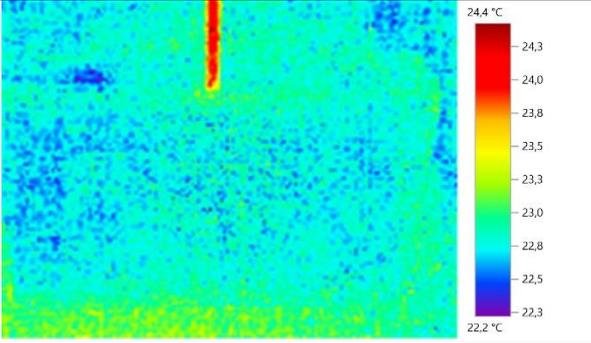
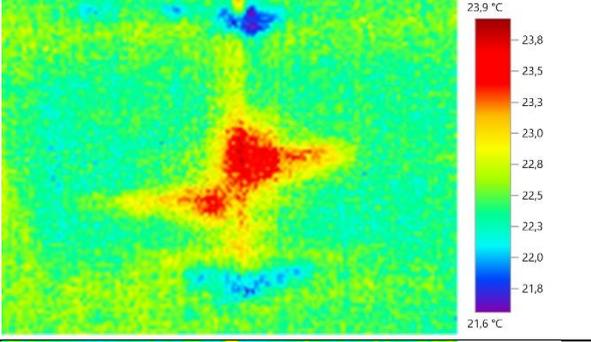
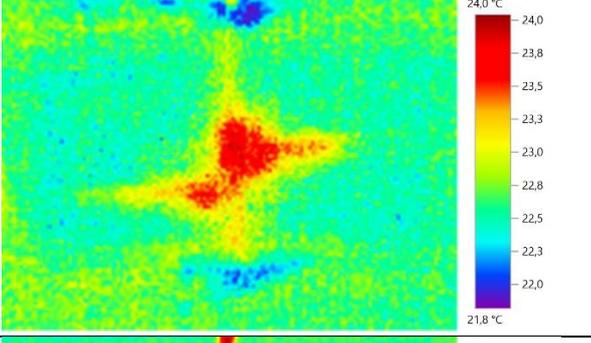
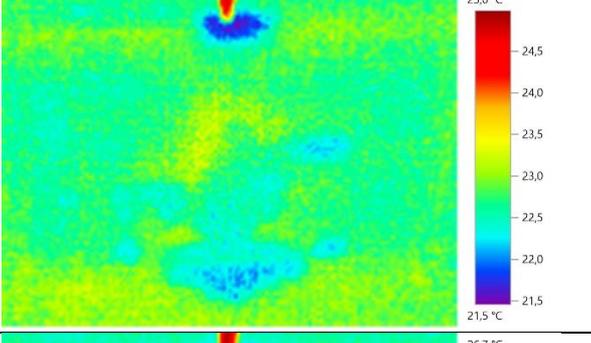
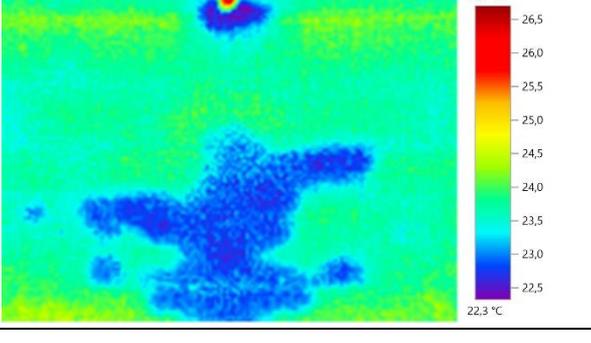
<p>50 min</p>		
<p>60 min</p>		
<p>24 h</p>		
<p>48 h</p>		
<p>72 h</p>		

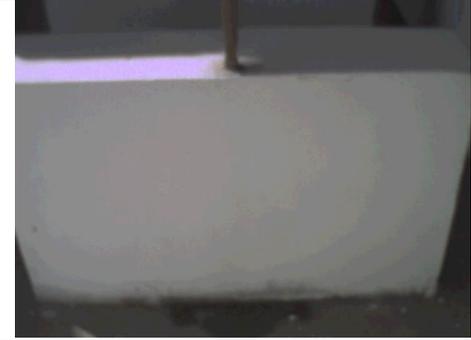
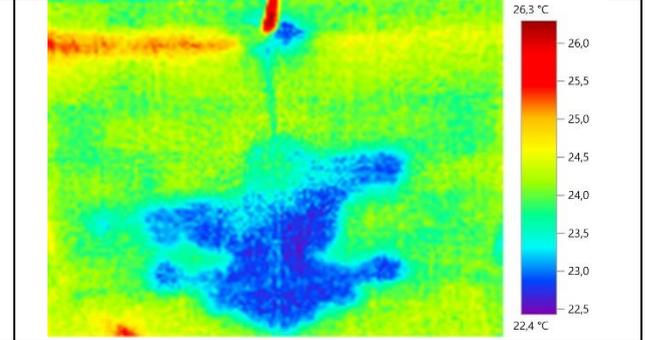
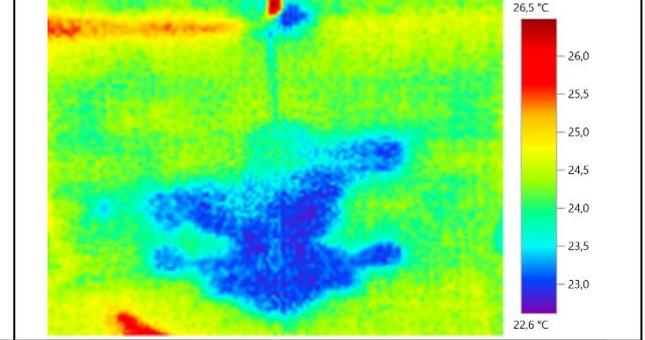
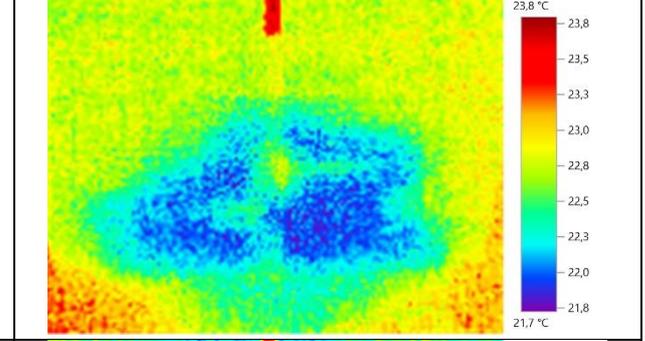
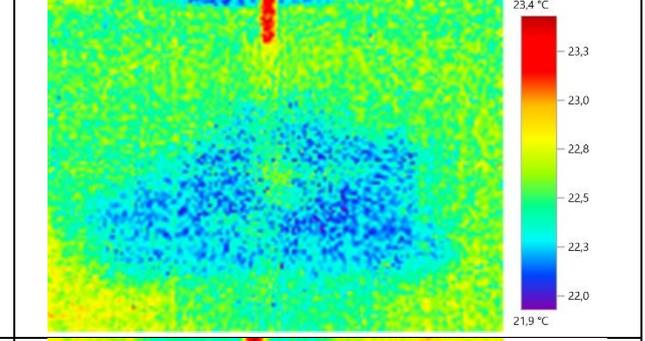
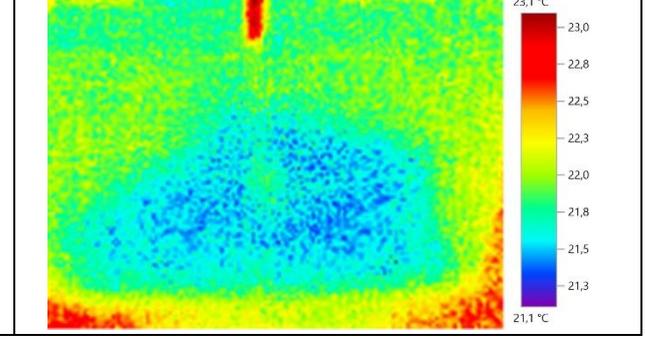
<p>1 semana</p>		
<p>2 semanas</p>		

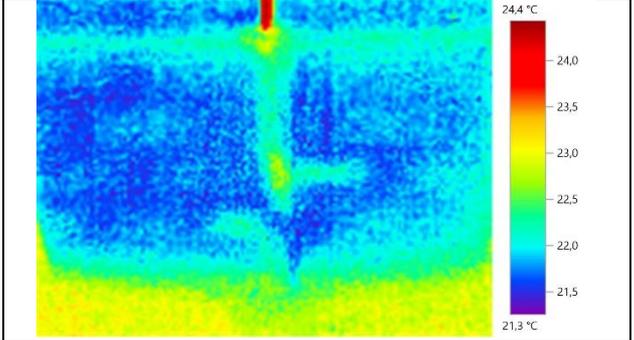
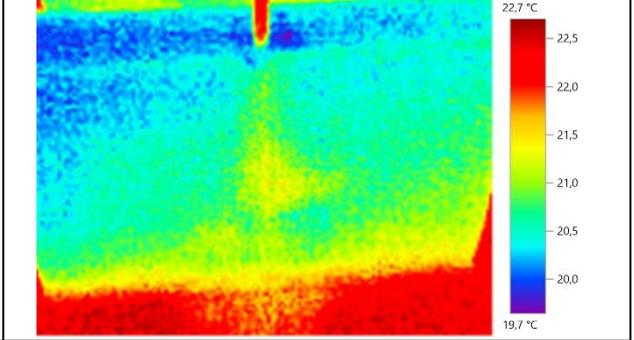
	Protótipo 2	
	Luz visível	Termografia
Seco		
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		

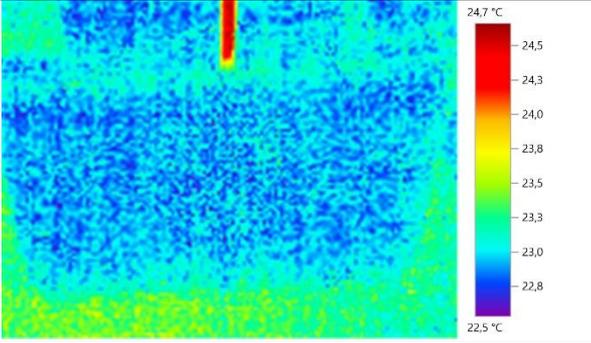
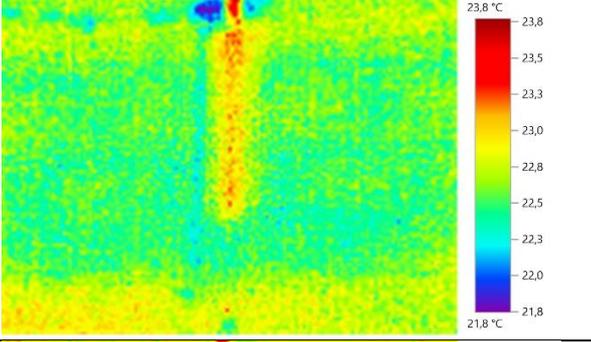
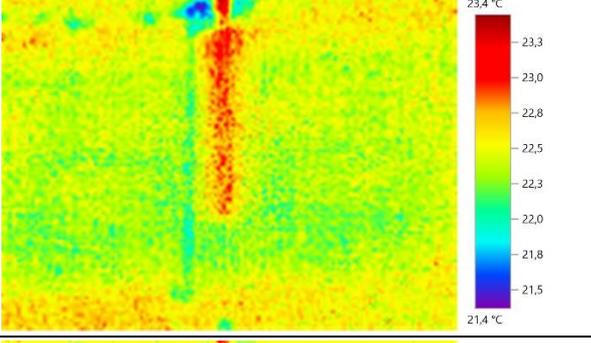
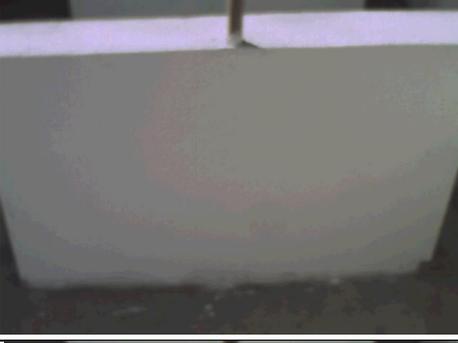
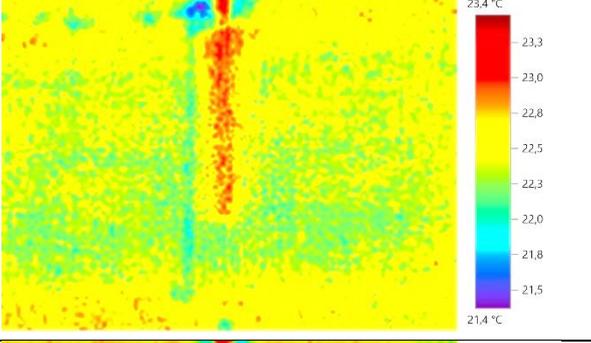
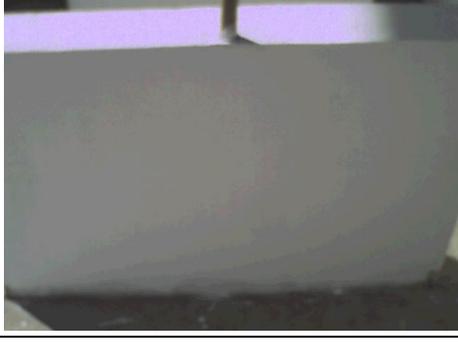
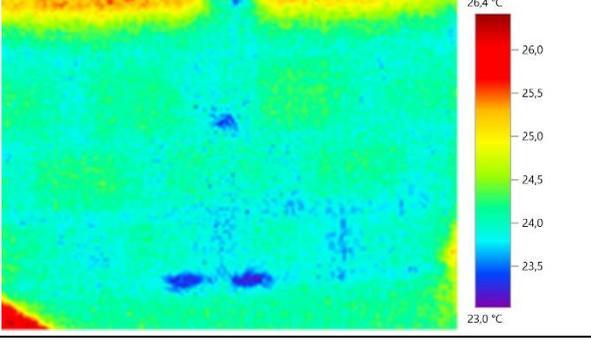
<p>50 min</p>		
<p>60 min</p>		
<p>24 h</p>		
<p>48 h</p>		
<p>72 h</p>		

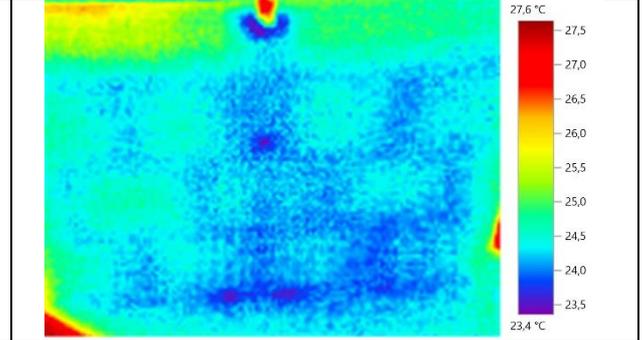
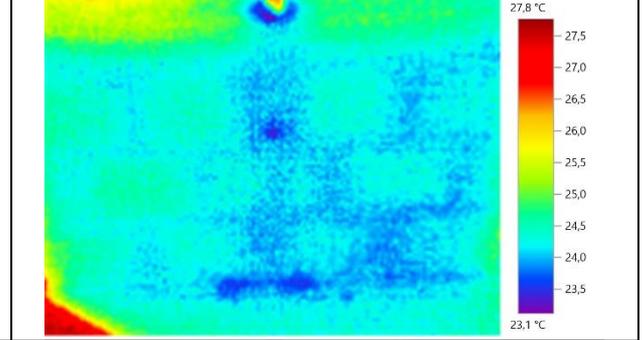
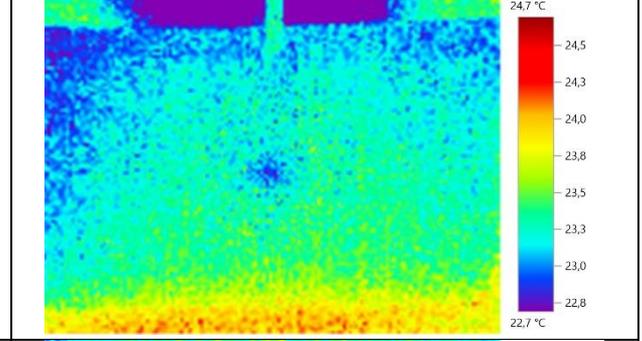
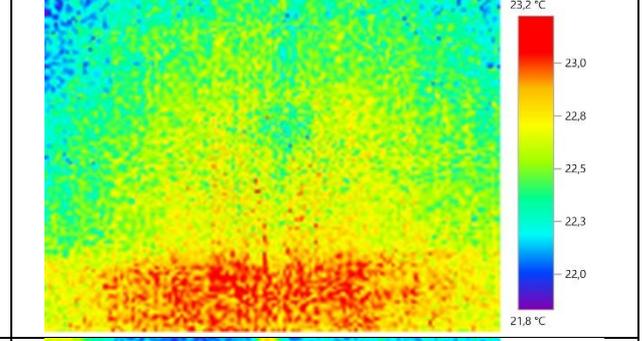
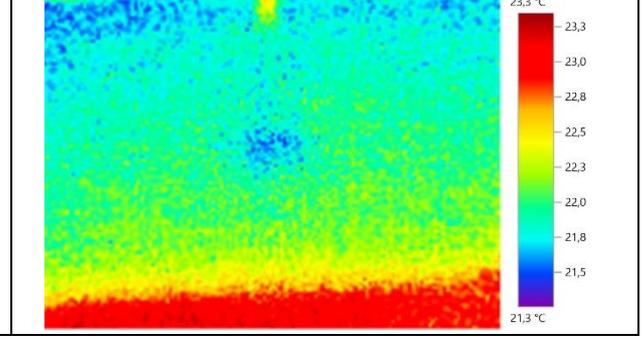
<p>1 semana</p>		
<p>2 semanas</p>		

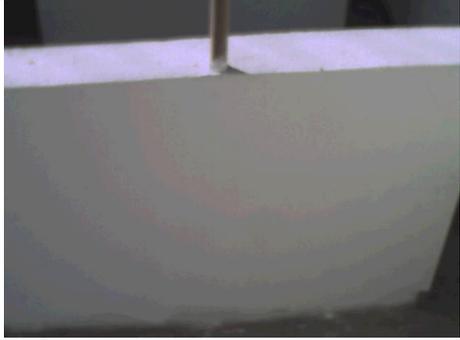
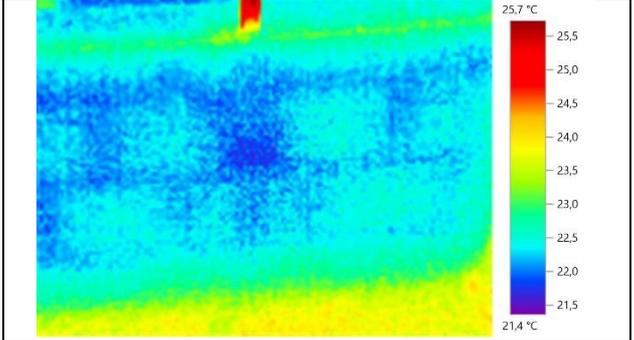
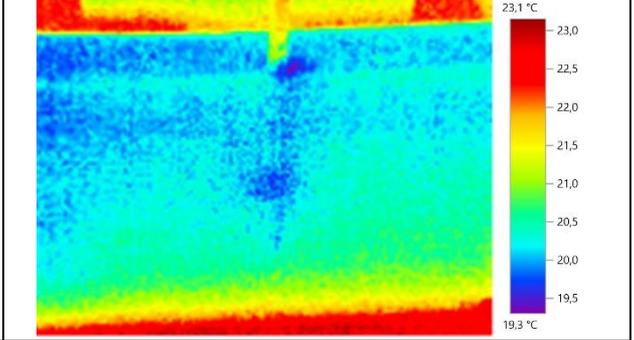
	Protótipo 3	
	Luz visível	Termografia
Seco		
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		

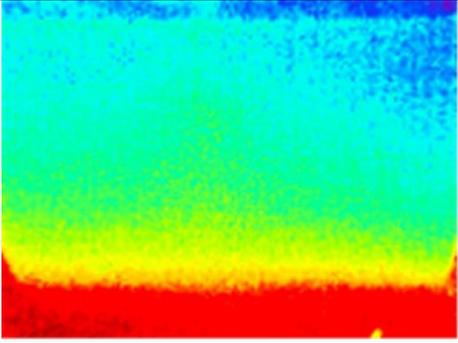
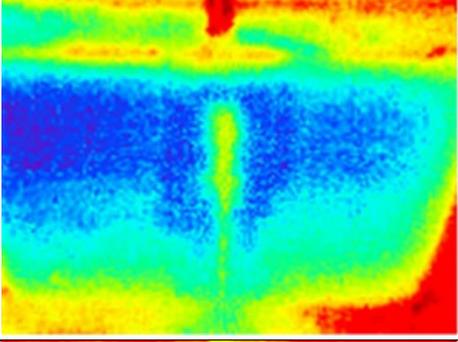
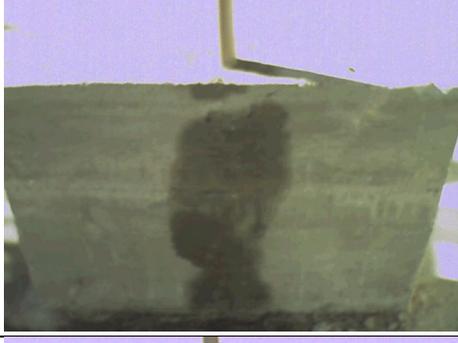
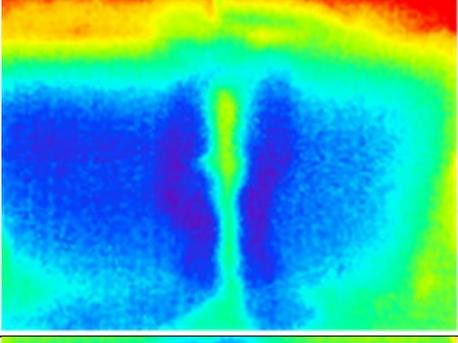
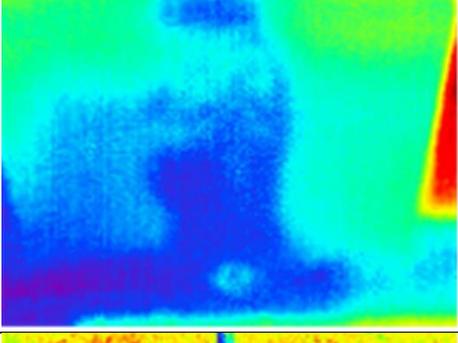
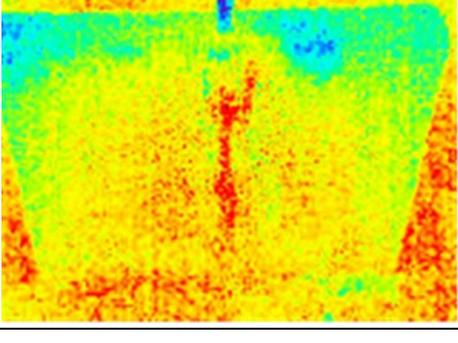
<p>50 min</p>		
<p>60 min</p>		
<p>24 h</p>		
<p>48 h</p>		
<p>72 h</p>		

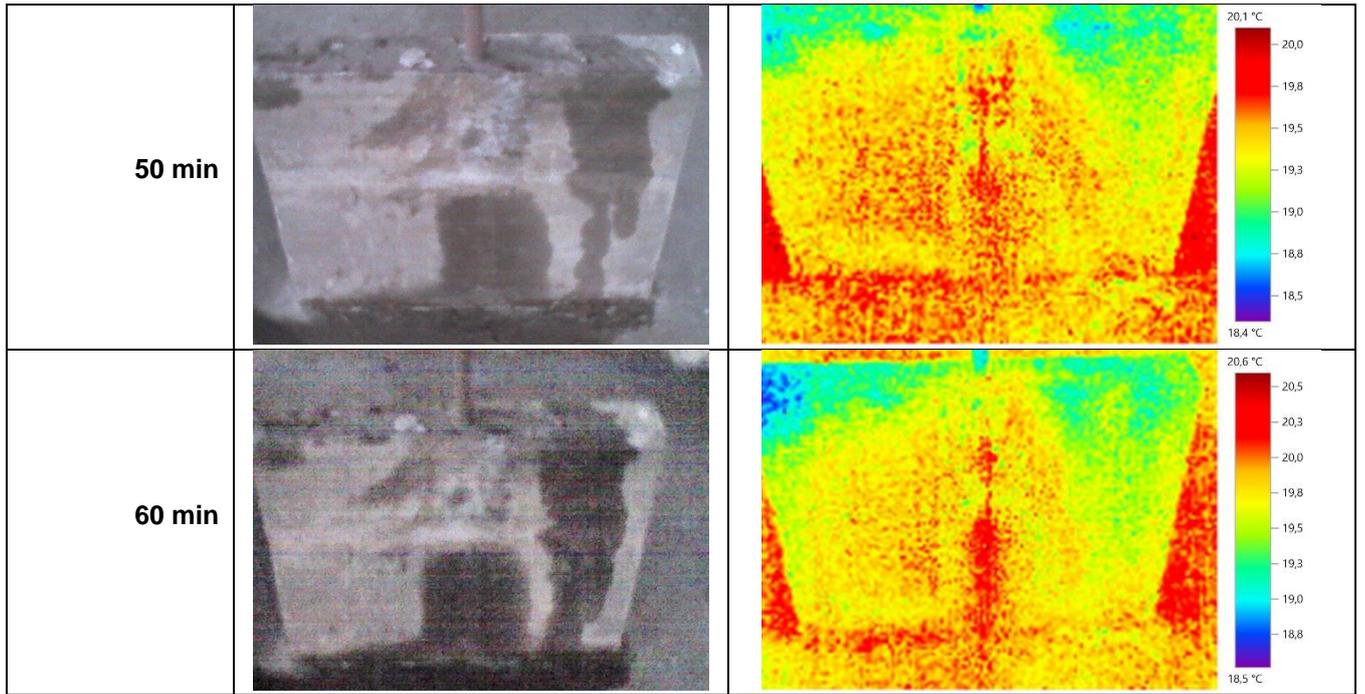
<p>1 semana</p>		
<p>2 semanas</p>		

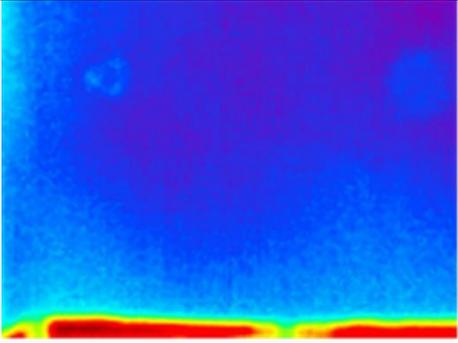
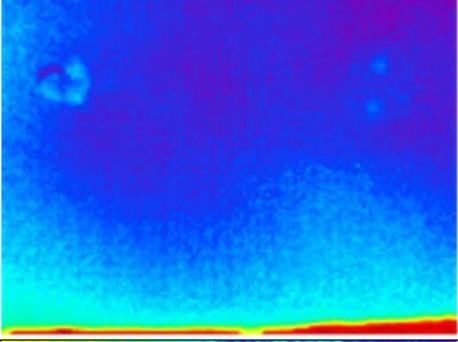
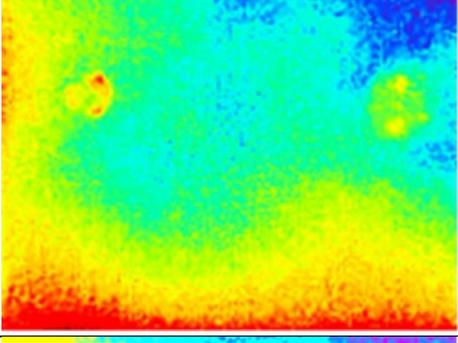
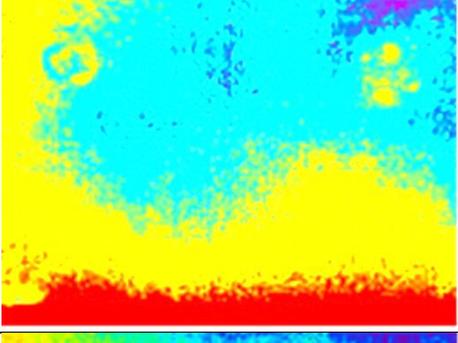
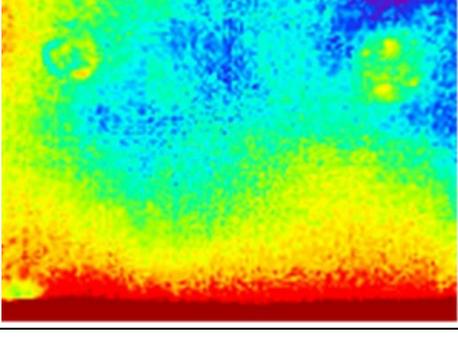
	Protótipo 4	
	Luz visível	Termografia
Seco		
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		

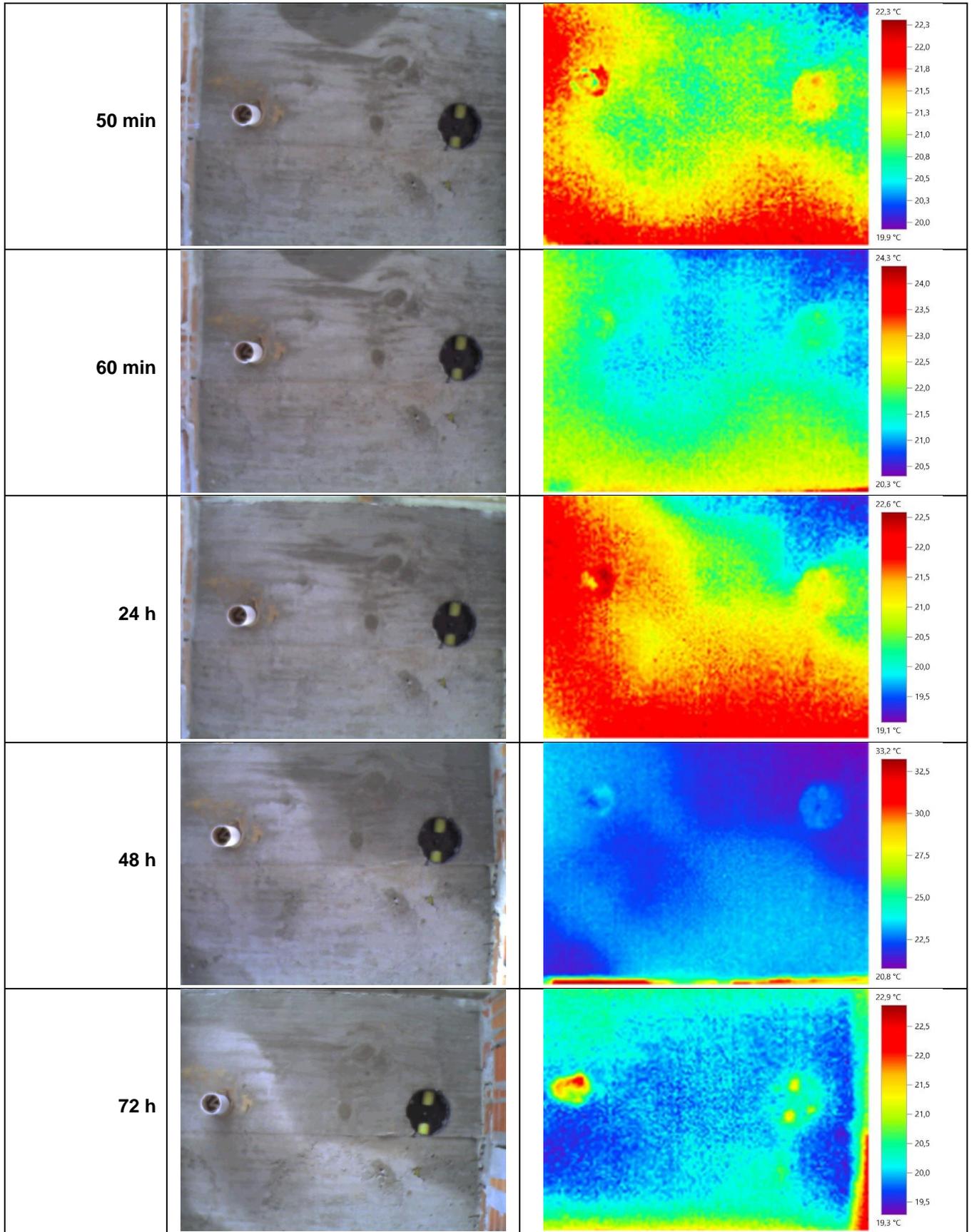
<p>50 min</p>		
<p>60 min</p>		
<p>24 h</p>		
<p>48 h</p>		
<p>72 h</p>		

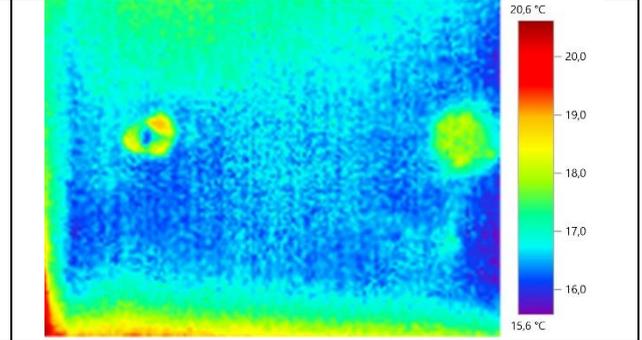
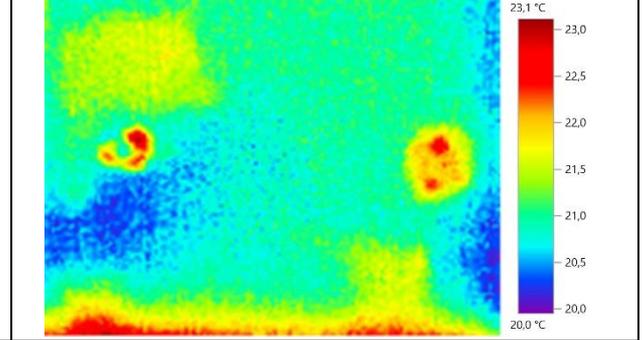
<p>1 semana</p>		
<p>2 semanas</p>		

	Protótipo 5	
	Luz visível	Termografia
Seco		
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		



	Cobertura	
	Luz visível	Termografia
Seco		
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		



<p>1 semana</p>		
<p>2 semanas</p>		

Anexo A – Ensaio de laboratório dos tijolos cerâmicos utilizados



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS
CENTRO POLITÉCNICO
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL

Relatório de Ensaios

CERTIFICADO Nº: 117/2016

À
Nadir Danenberg,
Travessa Sete, nº 903 – Pelotas RS

Serviço Realizado: Ensaio à compressão, absorção e análise dimensional em tijolos maciços cerâmicos de acordo com:

- NBR 6460/83 – *Tijolo Maciço Cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência a compressão.*
- NBR 15270-3/05 – *Componentes Cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaios.*

Instrumentação Utilizada: Máquina de ensaio à compressão, marca WPM, mod.DRM 300, tipo eletro-hidráulica, capacidade máxima 300tf, Nº 36516. Certificado de calibração DNIT/1074c/15.

Obra: Não Informado

Resultados resistência a compressão

CP Nº	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)	Carga de ruptura (kgf)	Limite de Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)
B.09	19,0	9,0	5,2	21160	12,37	10,41
B.11	19,1	9,0	5,1	17330	10,08	
B.12	19,0	9,3	5,1	18040	10,21	
C.02	19,3	9,2	5,0	16800	9,46	
M.07	19,1	9,0	5,0	16880	9,82	
M.08	19,3	9,0	5,2	18270	10,52	

Análise Dimensional

CP Nº	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)
B.10	19,2	9,4	5,0
C.01	19,0	9,0	5,0
M.05	19,0	9,0	4,9
Média	19,07	9,13	4,97

Absorção

CP Nº	Peso Seco (g)	Peso Úmido (g)	Absorção (%)
B.13	1553	1688	8,69
C.03	1529	1669	9,16
M.06	1545	1688	9,26
Média			9,03





UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS
CENTRO POLITÉCNICO
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL

CERTIFICADO Nº: 117/2016

Informações Gerais:

- * O material ensaiado foi entregue no LEC pelo solicitante;
- * Os resultados são válidos somente para o material ensaiado;
- * Temperatura ambiente durante o ensaio: 24,8°C; (incerteza $\pm 1,0^\circ\text{C}$);
- * Os blocos cerâmicos foram capeados com nata de cimento CPV-ARI RS para regularização da superfície;
- * Os valores das dimensões são obtidos por uma média aritmética através de três medidas;
- * Data de ensaio: 23/03/2016.

Pelotas, 23 de Março de 2016.


Eng. Marco Antônio Lhullier Moreira
CREA RS 83893





UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS
CENTRO POLITÉCNICO
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL

Relatório de Ensaio

CERTIFICADO Nº: 116/2016

À
Nelson Danenberg,
Travessa Sete, nº 851 – Pelotas RS

Serviço Realizado: Ensaio à compressão, absorção e análise dimensional em tijolos 6 furos cerâmicos de acordo com:

- NBR 6460/83 – *Tijolo Maciço Cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência a compressão.*
- NBR 15270-3/05 – *Componentes Cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaios.*

Instrumentação Utilizada: Máquina de ensaio à compressão, marca WPM, mod.DRM 300, tipo eletro-hidráulica, capacidade máxima 300tf, Nº 36516. Certificado de calibração DNTT/1074c/15.

Obra: Não Informado

Resultados resistência a compressão

CP Nº	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)	Carga de ruptura (kgf)	Limite de Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)
1.A	18,9	13,8	8,9	8780	3,37	3,92
1.B	18,9	13,9	8,8	10300	3,92	
2.C	18,8	13,8	8,8	10150	3,91	
3.A	18,8	13,9	8,9	8620	3,30	
3.C	18,7	13,8	8,9	9760	3,78	
3.E	18,7	13,7	8,8	13410	5,23	

Análise Dimensional

CP Nº	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)
1.C	18,9	13,9	8,8
1.D	18,9	13,9	8,9
2.A	18,9	13,9	8,8
Média	18,9	13,9	8,83

Absorção

CP Nº	Peso Seco (g)	Peso Úmido (g)	Absorção (%)
2.B	1657	1824	10,08
2.D	1692	1866	10,28
3.D	1654	1831	10,70
Média			10,35

RUA FÉLIX DA CUNHA, 412 – CEP 96010-000 – CENTRO – PELOTAS – RS – BRASIL
TEL.: (53) 2128-8271 – E-mail: lec@ucpel.tche.br - Site: www.ucpel.tche.br
"40 anos de tradição em Serviços Laboratoriais"





UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS
CENTRO POLITÉCNICO
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL

CERTIFICADO Nº: 116/2016

Informações Gerais:

- * O material ensaiado foi entregue no LEC pelo solicitante;
- * Os resultados são válidos somente para o material ensaiado;
- * Temperatura ambiente durante o ensaio: 24,8°C; (incerteza $\pm 1,0^\circ\text{C}$);
- * Os blocos cerâmicos foram capeados com nata de cimento CPV-ARI RS para regularização da superfície;
- * Os valores das dimensões são obtidos por uma média aritmética através de três medidas;
- * Data de ensaio: 23/03/2016.

Pelotas, 23 de Março de 2016.


Eng. Marco Antônio Lhullier Moreira
CREA RS 83893



Anexo B – Características do equipamento: câmara termográfica Testo 875-2

O equipamento do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética

Testo 875-2

Imagens infravermelhas	
Propriedade	Valores
Campo de visão/distância mín. de focagem	Objetiva standard: 32° x 23°/0,1m (0,33ft.) Teleobjetiva: 9° x 7°/0,5m (1,64ft.)
Sensibilidade térmica (NETD)	<80mK a 30°C (86°F)
Resolução geométrica	Objetiva standard: 3,3 mrad Teleobjetiva: 1 mrad
Frequência de repetição da imagem	9Hz
Foco	Manual
Tipo de detector	FPA 160x120 pixels, a-Si
Gama espectral	8... 14µm
Imagens visuais	
Propriedade	Valores
Campo de visão/distância mín. de focagem	33° x 25°/0,4m (1,31ft.)
Tamanho da imagem	640 x 480 pixels
Frequência de repetição da imagem	8... 15Hz
Representação da imagem	
Propriedade	Valores
Visualização da imagem	3,5" LCD com 320 x 240 pixels
Possibilidades de visualização	Testo 875-1: imagem infravermelha Testo 875-2: imagem infravermelha/imagem real/imagem infravermelha e imagem real
Saída de vídeo	USB 2.0
Fluxo de vídeo	9Hz
Paleta de cores	4 opções
Medição	
Propriedades	Valores
Gama de temperatura (comutável)	-20... 100°C/0... 280°C (-4... 212 °F/32... 536°F)
Exatidão	+ - 2°C (+ - 3,6°F) ou + - 2% do v. m. (é válido o valor superior)
Reprodutibilidade	+ - 1°C (+ - 1,8°F) ou + - 1% (é válido o valor superior)
Diâmetro mínimo do ponto de medição	Objetiva standard: 10mm a 1m Teleobjetiva: 3mm a 1m
Tempo de ativação	30s
Funções de imagem	Medição standard (1 ponto), ponto quente/frio, Solar (entrada manual da intensidade de radiação solar) Testo 875-2: indicação da distribuição da umidade superficial através da entrada manual da umidade/temperatura ambiente
Compensação de temperatura refletida	Manual

Ajuste da emissividade	0,01 – 1,00
------------------------	-------------

Arquivo de imagens

Propriedade	Valores
Formato de ficheiro	.bmt Possibilidade de exportação em .bmp, .jpg, .csv
Memória removível	Cartão SD
Capacidade de memória	Incluído: 2GB (aprox. 1000 imagens)

Dispositivo ótico

Propriedade	Valores
Objetiva standard	32° x 23°
Teleobjetiva	9° x 7°
Diafragma	1,0

Alimentação de tensão

Propriedade	Valores
Tipo de pilha	Pilha recarregável de íon de lítio: carregamento rápido, substituível no local
Tempo de funcionamento	Aprox.. 4h a 20... 30°C (68... 86°F)
Opção de carregamento	No instrumento/no módulo de recarga (opcional)
Conexão à rede	Sim, com alimentador 0554 8808
Tensão de saída do alimentador	5V/4ª

Condições do ambiente

Característica	Valores
Temperatura de utilização	-15... 40°C (5... 113 °F)
Temperatura de armazenamento	-30... 60°C (-22... 140°F)
Umidade do ar	20... 80%, sem condensação
Tipo de proteção da caixa	IP54

Dados físicos característicos

Propriedade	Valores
Peso	900g
Dimensões	152 x 108 x 262 mm
Montagem do tripé	Sim, com adaptador incluído
Caixa	ABS
Tipo de proteção	IP54
Vibração	Máx. 2G